

690950, Россия, г. Владивосток, Аксаковский переулок, 3а, кафедра гидроакустики, тел.: (4232) 450982

Титов Евгений Максимович

E-mail: llns@mail.ru

Korochentsev Vladimir Ivanovich

Institute of Radio electronics, Information Science and Electrical Engineering Department of Hydroacoustics

E-mail: vkorocho@mail.ru

3а, Axakovsky pereulok, Vladivostok, 690950, Russia, far Eastern National Technical University, Ph.: +7 (4232) 450982

Titov Eugeny Maximovich

E-mail: llns@mail.ru

УДК 534.222

М. А. Раскита

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ СКОРОСТИ ЗВУКА ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ВОДНЫХ МАСС

Целью работы является выявление погрешности метода «параллельных» звуковых лучей для неконтактного восстановления профилей скорости звука. Приводятся результаты теоретического моделирования. Отмечается, что основную погрешность вносят точность измерения расстояния между акустическими приемниками и погрешность определения времени прихода акустических сигналов.

Экологический мониторинг водных масс; неконтактное восстановление профилей скорости звука; метод «параллельных» звуковых лучей.

М. А. Raskita

SOUND VELOCITY PROFILES RECONSTRUCTION ERROR ESTIMATE AT WATER MASSES REMOTE ECOLOGICAL MONITORING

The aim of this work is to uncover the error of “parallel” sound beams method for remote sound velocity profiles reconstruction. The results of theoretical modeling are shown. It is remarked that the main error is carried in by tolerance of distance measuring between acoustic receivers and the acoustic signals time incoming definition error.

Water masses ecological monitoring; sound velocity remote profiles reconstruction; “parallel” sound beams method.

Дистанционное исследование гидрофизических параметров морской среды является одной из задач экологического мониторинга водной экосистемы. Важнейшей интегральной акустической характеристикой водных масс, позволяющей оценивать их состояние, является скорость распространения звуковых колебаний. Зависимость скорости звука от параметров морской среды принято представлять в виде вертикального профиля скорости звука (ПСЗ). В связи с этим дистанционное измерение профиля скорости звука в водной среде является актуальной задачей экологического мониторинга.

В работах автора [1, 2] приводится описание разработанного им метода «параллельных» звуковых лучей для неконтактного восстановления профилей скорости звука и двух технических реализаций этого метода, защищённых патентами РФ №2319116, №2330248. Рассмотрим вкратце одну из технических реализаций, изображённую на рис.1, для оценки погрешностей при неконтактном восстановлении ПСЗ.

Вертикально ориентированный излучатель *И* акустических сигналов посылает в исследуемую среду звуковые импульсы, которые, рассеиваясь на неоднородностях морской среды в области пересечения излучающего и приемных лепестков характеристик направленности, регистрируются приемной системой, размещенной на определенном расстоянии *D* от излучателя и состоящую из трех акустических приемников *П1*, *П2* и *П3*, расположенных на расстоянии *d* друг от друга.

Акустические приемники с последующей схемой обработки сигналов образуют две приемные корреляционные системы, расположенные друг за другом. Корреляционные приемные системы обеспечивают прием рассеянных сигналов с одного и того же направления, задаваемого углом приема α_i . Каждая пара приемных лучей с одинаковым углом приема следует за предыдущей с определенным шагом по углу, зависящем от заданного шага по глубине, для того, чтобы перекрыть трассу восстановления профиля скорости звука. Таким образом, в пространстве формируются два веера статических лучей приемной характеристики направленности (ХН), характеризующихся фиксированным значением угла приема α_i , причем одноименные (по углу приема) лучи в обоих веерах оказываются «параллельными». Профиль скорости звука $c(z)$ восстанавливается по известным расстояниям между излучателем и приемной системой и между акустическими приемниками, и по разности измеренных зависимостей времен прихода рассеянных акустических импульсов по лучам приемных ХН в зависимости от угла приема с помощью соотношения (1) [2].

$$\Delta t_i(z) = \frac{c_0 d}{c(z)_i^2 \cos \alpha_0} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{c(z)_i}{c_0} \cos \alpha_0 \right)^2} \right), \quad (1)$$

где c_0 – скорость звука на горизонте размещения антенных систем.

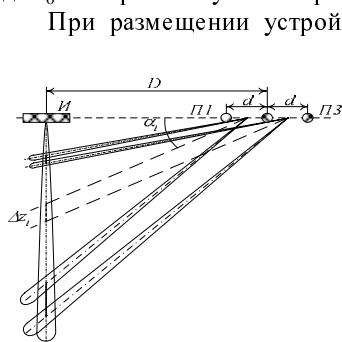


Рис. 1. Одна из технических реализаций метода «параллельных» звуковых лучей

При размещении устройства для неконтактного восстановления профилей скорости звука на судах расстояние между излучающей антенной и приемной системой может достигать 30-50 м. При этом точность измерения этого расстояния будет не хуже ± 1 см. Проследим влияние большей погрешности измерения расстояния $D' = D \pm 5$ см на погрешность восстановления профилей скорости звука при равных прочих условиях: $D = 30$ м, $d = 1$ м, глубина восстановления $z = 300$ м.

Восстанавливаемый профиль скорости звука показан на рис.2,а. Результаты расчета приведены на рис.2,б и представляют собой разность между исходным и восстановленным профилем скорости звука при сдвиге приемной системы на 5 см в сторону излучателя (т.е.

$D' = D - 0,05$ м) и при сдвиге приемной системы от излучателя (т.е. $D' = D + 0,05$ м).

При анализе полученных зависимостей видно, что величина и знак ошибки восстановления определяется видом и знаком градиента исходного профиля скорости звука. При этом наиболее чувствительным параметром является разность времен пробега сигналов по акустическим лучам, а не сами времена прихода рассеянных сигналов.

На рис.2 до оси ПЗК при отрицательном градиенте скорости звука в случае смещения приемной системы ближе к излучателю погрешность имеет положительный знак и максимальное значение на половине рассматриваемого пути, «ноль» на оси канала, и, далее, отрицательный знак и увеличение по абсолютному значению. В случае смещения приемной системы дальше от излучателя картина меняется на противоположную. При градиенте скорости звука $0,3 \text{ с}^{-1}$ численное значение ошибки восстановления профиля скорости звука при смещении приемников к излучателю и от него на 5 см достигает не более $0,4 \text{ м/с}$ по абсолютному значению.

На результат восстановления профилей скорости звука более влияет погрешность задания расстояния между двумя остронаправленными приемниками d . На рис.3,б показана погрешность восстановления профилей скорости звука при погрешности $\pm 5 \text{ см}$ задания расстояния между остронаправленными приемниками $d = 1 \text{ м}$. Восстанавливаемый профиль скорости звука показан на рис.3,а.

В этом случае погрешность восстановления резко возрастает на первых 60-ти метрах дистанции, а затем абсолютное значение погрешности практически не изменяется по сравнению с начальным увеличением. В случае увеличения расстояния между остронаправленными приемниками погрешность восстановления имеет положительный знак, а в случае уменьшения – отрицательный. Резкое возрастание погрешности восстановления наблюдается в интервале $0-33 \text{ м/с}$, что на порядок превышает погрешность восстановления при ошибочном задании расстояния D между излучателем и приемником.

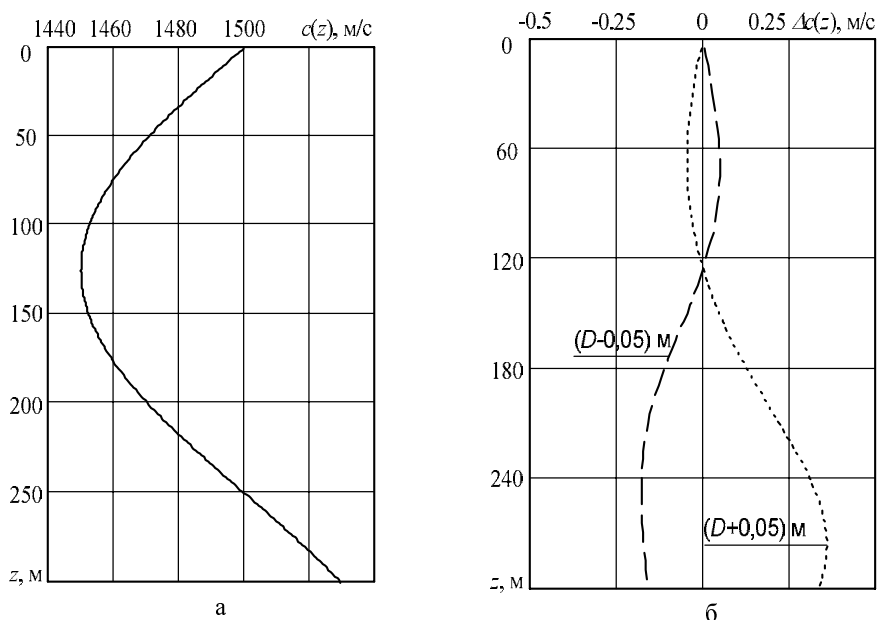


Рис.2. Восстанавливаемый профиль и погрешность восстановления

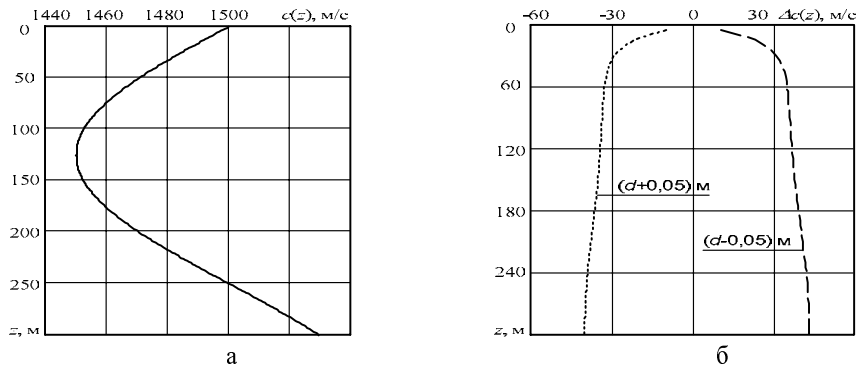


Рис.3. Восстанавливаемый профиль и погрешность восстановления

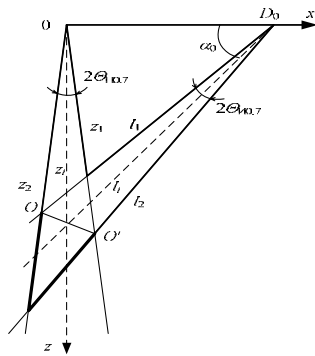


Рис. 4. Геометрия задачи

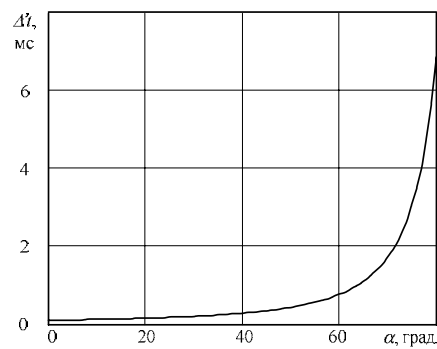


Рис. 5. Зависимость погрешности определения времени прихода от угла приема

Основную погрешность при восстановлении ПСЗ будет вносить точность определения разности времен прихода, возникающая за счет геометрических характеристик решаемой задачи – при конечных размерах характеристик направленности излучателя и приемника рассеивающий импульсный объем возрастает с увеличением глубины (рис.4), и, следовательно, увеличивается область пространства, из которого происходит рассеяние. Это приводит к неопределенности положения рассеивателей, изначально предполагаемых находящимися в точке пересечения осей излучающей и приемной характеристик направленности.

Для нахождения максимального времени распространения акустического сигнала воспользуемся геометрией задачи, изображенной на рис. 4. Рассмотрим треугольник, образованный дистанциями z_2 , l_2 и D_0 с углами $90^\circ + \Theta_{и0,7}$, $\alpha_0 + \Theta_{п0,7}$ и $180^\circ - (90^\circ + \Theta_{и0,7}) - (\alpha_0 + \Theta_{п0,7})$. В результате получим уравнение (2), позволяющее рассчитывать время прихода рассеянных акустических сигналов при использовании излучателя и приемника с известными характеристиками направленности.

$$\Delta^* t = \frac{D_0 \sin(\alpha_0 + \Theta_{п0,7}) + \cos(\Theta_{и0,7})}{c_0 \cos(\alpha_0 + \Theta_{и0,7} + \Theta_{п0,7})} \quad (2)$$

Для минимизации влияния расхождения звукового пучка на точностные характеристики восстановления ПСЗ необходимо применять антенны, создающие узкие (слабо расходящиеся) звуковые пучки или работать в ближней зоне антенн. В качестве излучающей антенны, обладающей такими свойствами, может быть применена параметрическая антенна [3, 4].

Рассчитаем погрешность измерения времени для условий $z = 200\text{ м}$, $\alpha_{0\text{max}} = 80^\circ$, $D = 35\text{ м}$ при предположении влияния только характеристики направленности приемника $2\theta_{0,7} = 0,5^\circ$. Расстояние между остронаправленными акустическими приемниками $d = 1\text{ м}$. Зависимость погрешности от угла приема для первого акустического приемника показана на рис.5.

Из полученной зависимости видно, что погрешность определения времени прихода возрастает с увеличением угла приема. Максимальное значение погрешности при угле приема $\alpha_0 = 80^\circ \Delta t = 6,87\text{ мс}$. В интервале углов приема $\alpha_0 = 0-60^\circ$ значение погрешности возрастает плавно от 0,1 до 0,766 мс, затем, в интервале углов приема $\alpha_0 = 60-80^\circ$, погрешность возрастает намного быстрее – от 0,766 до 6,87 мс. Такое поведение погрешности определения времени прихода обусловлено пространственным изменением рассеивающего объема (в данном случае областью, образованной пересечением телесного угла приемной ХН и вертикальной трассы), поэтому при восстановлении профилей скорости звука следует ограничиться углами приема до значения 80° .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Борисов С.А., Раскита М.А.* Численное восстановление профиля скорости звука методом лучевого параметра // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Экология 2006 – Море и человек». – Таганрог, 2006. № 12 (67). – С. 126–129.
2. *Раскита М.А., Борисов А.С., Борисов С.А.* Устройство для неконтактного восстановления профилей скорости звука при дистанционном зондировании морской среды // Методы и устройства передачи и обработки информации: Межвуз. сб. науч. трудов.– М.: 2007. Вып. 9. – С. 99–108, 284.
3. *Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И.* Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Росиздат, 2004. – 400 с.
4. *Борисов С.А., Раскита М.А.* Параметрический источник звука и бистатическая реверберация применительно к задаче дистанционного измерения ВРСЗ // Труды конференции «Нелинейная гидроакустика». – Ростов-на-Дону, 2006. – С. 62–65.

Раскита Максим Анатольевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге

E-mail: raskita@mail.ru

347928, Россия, г. Таганрог, ГСП 17А, Некрасовский, 44

Тел.: 8 (8634) 37-17-95

Raskita Maksim Anatolievich,

Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University"

E-mail: raskita@mail.ru

44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia, Ph.: +7 (8634) 37-17-95