

УДК 681.883.03

А.И.Гончар, Т.А.Попова, С.Г.Федосеенков

*Научно-технический центр
панорамных акустических систем НАН Украины, г.Запорожье***ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНШЕТОВ ПАНОРАМНОЙ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ НА МЕЛКОВОДЬЕ**

Рассмотрены основы построения планшета обследованных акваторий по данным гидроакустического комплекса с нанесением эхограмм дна на спутниковые карты. Приведены характерные примеры реально обследуемых участков. Выполнена оценка погрешности построения планшета.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *планшет, гидролокатор бокового обзора, полином Лагранжа.*

Успешное решение ряда важных стратегических, навигационно-гидрографических и народнохозяйственных задач зависит от наличия информации о рельефе дна и лежащих на нем объектов.

Одним из наиболее эффективных средств площадного обследования дна больших акваторий является гидролокатор бокового обзора (ГБО), обладающий высокой производительностью и разрешающей способностью. Результат обследования акватории – планшет с траекторией движения носителя (плавсредства) и нанесенными на него эхограммами дна с привязкой к координатам. Планшет дает возможность быстро и однозначно определить координаты заинтересовавшей цели, дает более точное представление о её форме и размерах.

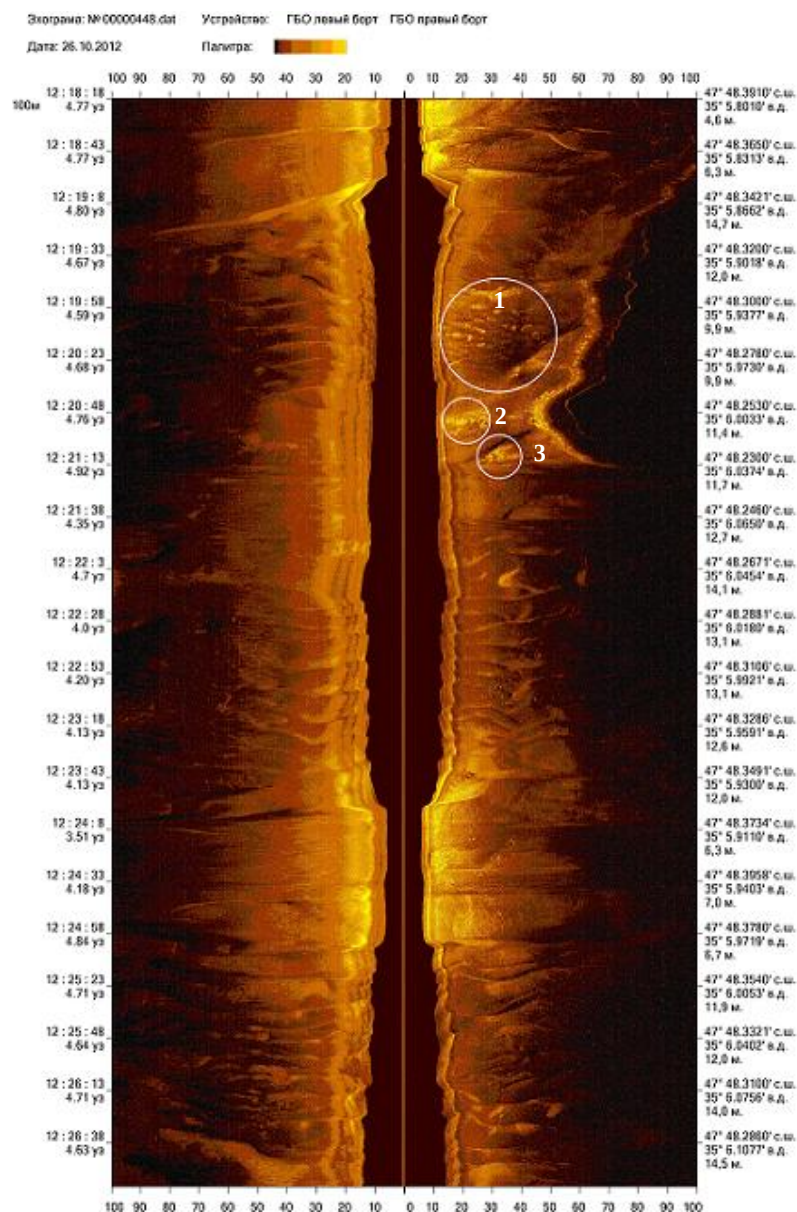
Основные аспекты алгоритма построения планшета по данным панорамного гидроакустического комплекса приводились в работах [1, 2]. Можно выделить несколько этапов построения:

- определение координат в локальной системе отсчета, связанной с приемо-излучающей антенной и ее диаграммой направленности;
- внесение поправок координат, учитывающих взаимное расположение и ориентацию антенны по отношению к приемнику системы позиционирования на судне носителя;
- внесение поправок координат с учетом крена, дифферента и рыскания судна;
- непосредственный расчет географических координат цифровых отсчетов отраженного сигнала.

При исследовании прибрежных зон нанесение планшета на спутниковые карты обеспечивает визуальную наглядность обследуемого участка, позволяет определять место расположения опасных в навигационном смысле подводных объектов при составлении курсов на фарватерах, дает представление о природе объекта (например, газо- и нефтепроводы, идущие с суши под воду) [3, 4].

На рис.1 показана эхограмма обследования карьера добычи песка около о. Хортица с отмеченными характерными целями 1, 2, 3 (объекты очевидно связанные с промышленной деятельностью в этом районе), которые представляют интерес для исследования.

© А.И.Гончар, Т.А.Попова, С.Г.Федосеенков, 2013



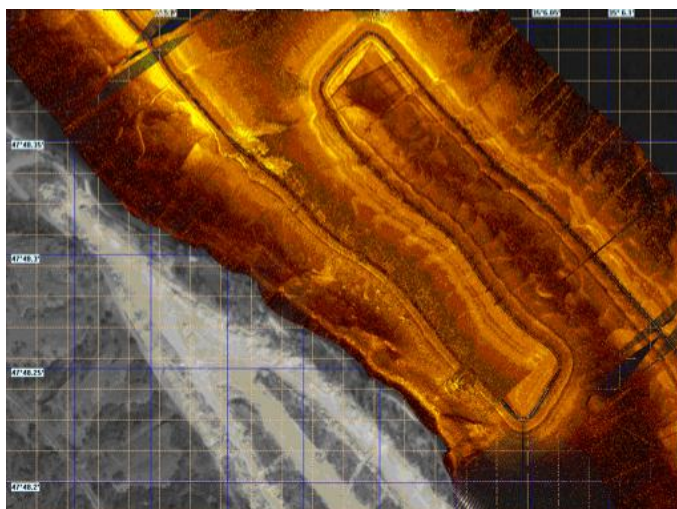
Р и с . 1. Эхограмма обследования карьера добычи песка около о. Хортица с отмеченными характерными целями 1, 2, 3.

По данным обследования с применением разработанных алгоритмов был построен планшет и совмещен со спутниковой картой (рис.2).

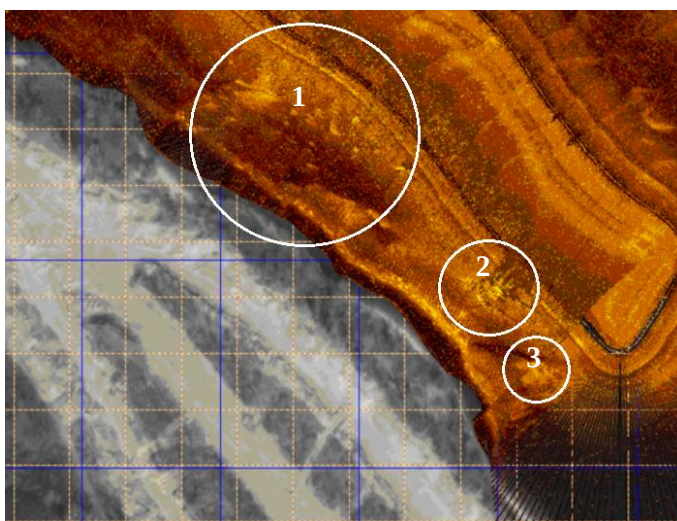
На рис.3 показан фрагмент планшета, на котором отмечены характерные цели.

Теперь можно определить расстояние и ориентацию относительно берега, географические координаты отмеченных целей.

Наиболее важной характеристикой любой методики обработки информации является точность и оценка погрешности вычислений, особенно если ко-



Р и с . 2 . Наложение эхограммы обследования карьера на планшет и спутниковое изображение района.



Р и с . 3 . Фрагмент планшета с отмеченными характерными целями 1, 2, 3.

нечным продуктом методики является карта или планшет места обследования.

Для оценки среднеквадратичной погрешности построения планшета была разработана математическая модель, в которой учтена погрешность: устройства *GPS*, методов математического аппарата построения планшета, влияния углов крена, дифферента и рысканья носителя ГБО.

Погрешность устройства *GPS* известна заранее. Незначительные изменения могут вносить неконтролируемые факторы: геометрия спутников, географическое место расположения устройства и т.д.

Погрешность математического аппарата определяется погрешностью методов интерполяции. Оценку точности интерполяции полиномом Лагранжа дает формула [5]:

$$|f(x) - L_n(x)| \leq \frac{M_{n+1}}{(n+1)!}, \quad (1)$$

где $M_{n+1} = \text{Sup}|f^{n+1}(\varepsilon)|$, $f(x)$ – значения пикселей планшета, $L_n(x)$ – полином Лагранжа степени n , $\text{Sup}|f^{n+1}(\varepsilon)|$ – точная верхняя грань $n+1$ производных погрешности ε .

При расчете координат отмеченной цели с учетом крена носителя на угол φ , дифферента на угол ψ и рыскания на угол θ используется декартова система координат с началом отсчета в точке расположения антенны системы позиционирования. При этом, ось Ox направлена перпендикулярно курсу носителя и расположена в горизонтальной плоскости, ось Oy направлена вдоль курса носителя и расположена в горизонтальной плоскости, ось Oz перпендикулярна плоскости горизонта. Гидроакустическая антенна находится в точке с координатами $A(A_x, A_y, A_z)$, отмеченная цель на эхограмме располагается в точке $C(C_x, C_y, C_z)$.

Используя рассчитанные координаты цели относительно гидроакустической антенны, и координаты гидроакустической антенны относительно антенны системы позиционирования носителя, координаты цели в местной системе отсчета относительно антенны системы позиционирования носителя будут находиться по формулам:

$$\begin{aligned} C_x &= H \cdot \cos \theta - r \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta + (A_x \cdot \cos \varphi - A_z \cdot \sin \varphi) \cdot \cos \theta - \\ &\quad - (A_y \cdot \cos \psi - (A_x \cdot \sin \varphi + A_z \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \psi) \cdot \sin \theta; \\ C_y &= H \cdot \sin \psi \cdot \cos \theta + r \cdot \sin \theta + (A_x \cdot \cos \varphi - A_z \cdot \sin \varphi) \cdot \sin \theta + \\ &\quad + (A_y \cdot \cos \psi - (A_x \cdot \sin \varphi + A_z \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \psi) \cdot \cos \theta; \\ C_z &= -H \cdot \cos \psi + A_y \cdot \sin \psi + (A_x \cdot \sin \varphi + A_z \cdot \cos \varphi) \cdot \cos \psi, \end{aligned}$$

где H – значение глубины; r – наклонная дальность.

Формула для расчета погрешности экранных координат:

$$\begin{aligned} \Delta(\alpha_u) &= \quad (2) \\ &= \sqrt{(\Delta\beta)^2 + \left(\frac{\sin(D)}{R \cos(\beta)} \Delta G\right)^2 + \left(\frac{G \cdot \cos(D)}{R \cos(\beta)} \Delta D\right)^2 + \left(-\frac{G \cdot \sin(D)}{R^2 \cos(\beta)} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{G \cdot \sin(D) \cdot \sin(\beta)}{R \cos^2(\beta)} \Delta\beta\right)^2} \\ \Delta(\beta_u) &= \sqrt{(\Delta\beta)^2 + \left(\frac{\cos(D)}{R} \Delta G\right)^2 + \left(-\frac{G \cdot \sin(D)}{R} \Delta D\right)^2 + \left(-\frac{G \cdot \cos(D)}{R^2} \Delta R\right)^2}, \end{aligned}$$

где $\Delta\beta$ – погрешность географической широты; ΔG – погрешность определения расстояния до цели; ΔR – погрешность определения расстояния до центра земли; ΔD – погрешность для направления на цель.

Среднеквадратичная погрешность построения планшета вычисляется по формуле [5]:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где n – количество точек планшета; x_i – линейная погрешность в i -ой точке; $\bar{x}$ – среднее значение линейной погрешности.

Численные расчеты для планшета приведенного на рис.2 при погрешностью приемника *GPS* 15 м и наклонной дальности ГБО 100 м показывают, что линейная погрешность составляет 19 м, а $S = 6 \cdot 10^{-1}$ м.

При использовании дифференциальных устройств *GPS*, погрешность которых составляет 0,05 м получаем, что линейная погрешность построения планшета 0,18 м, а $S = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

Таким образом, применяя разработанное программное обеспечение, можно строить планшет обследованных акваторий по данным панорамного акустического комплекса. Планшет дает возможность быстро и однозначно определить координаты заинтересовавшей цели. При помощи математической модели оценки линейной и среднеквадратичной погрешности построения планшета, можно с достаточной точностью определить координаты места расположения обнаруженного объекта. Использование дифференциальных устройств *GPS* при обследовании участков акваторий с помощью панорамного гидроакустического комплекса дает возможность уменьшить на порядок линейную погрешность построения планшета, а среднеквадратичную на два порядка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончар А.И., Федосеев С.Г., Шлычек Л.И., Шундель А.И. Построение планшета обследованных акваторий по данным панорамного акустического комплекса // X межд. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики – Га-2010».– СПб, 2010.– С.356-358.
2. Гончар А.И., Донченко С.И., Худоконь В.В., Шундель А.И. Создание автоматизированного планшета панорамной съемки акваторий // Гідроакустичний журнал. (Проблеми, методи та засоби досліджень світового океану).– Запоріжжя: НТЦ ПАС НАНУ, 2007.– № 4.– С.49-53.
3. Гончар А.И., Худоконь В.В., Шлычек Л.И. Обработка данных в многоканальной системе сбора и обработки информации комплекса средств экологического мониторинга акваторий // Гідроакустичний журнал. (Проблеми, методи та засоби досліджень світового океану).– Запоріжжя: НТЦ ПАС НАНУ, 2010.– № 7.– С.123-128.
4. Гончар А.И., Федосеев С.Г., Шундель А.И., Худоконь В.В., Сафонов А.В. Совмещение планшета панорамного гидроакустического комплекса со спутниковой картой // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых вод и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– вып.25.– С.111-118.
5. Корн Г., Корн Т.М. Справочник по математике (для научных работников и инженеров).– М.: Наука, 1974.– 832 с.

Материал поступил в редакцию 08.06.2013 г.

АНОТАЦІЯ Розглянуті основи побудови планшета обстежених акваторій за даними гідроакустичного комплексу з нанесенням ехограм дна на супутникові карти. Наведено характерні приклади реально обстежуваних ділянок. Виконана оцінка похибки побудови планшета.

ABSTRACT The article covers the basics of building the tablet according to the surveyed waters sonar system with the application of the bottom echogram on satellite maps. Are specific examples of actual sampling sites. The estimation error of the tablet.