

А.И.Гончар, С.Г.Федосеенков, А.И.Шундель,
В.В.Худоконь, А.В.Сафонов

*Научно-технический центр
панорамных акустических систем НАН Украины, г.Запорожье*

СОВМЕЩЕНИЕ ПЛАНШЕТА ПАНОРАМНОГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СО СПУТНИКОВОЙ КАРТОЙ

Рассмотрены основы построения планшета обследованных акваторий гидроакустического комплекса с нанесением эхограмм дна на спутниковую карту. Обоснована актуальность и практическое значение результатов анализа информации построенного планшета на примере сопряжения со спутниковой картой и привязкой к географическим координатам, при мониторинге акваторий. Приведены характерные примеры реально обследованных участков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *планшет, эллипсоид Красовского, эхограмма, изобаты глубины.*

Для достижения максимальных результатов исследования и мониторинга прибрежных акваторий с помощью панорамного гидроакустического комплекса необходимо использовать новейшие спутниковые технологии.

Традиционно результат обследования акватории – планшет с галсами (траекторией движения носителя) обследования и нанесенными на него обнаруженными объектами и особенностями рельефа (изобатами глубин). В современных системах имеется возможность нанесения на планшет эхограмм дна с привязкой к координатам. Основные аспекты алгоритмов нанесения эхограмм на планшеты докладывались на X международной конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» ГА-2010 в Санкт-Петербурге и изложены в трудах этой конференции [1].

Полученный планшет можно совмещать с любыми цифровыми картами, например, со спутниковой. Для этого создается трехмерный массив $\{x', y', K\}$, где K – значение цвета в нужной палитре, а x', y' связаны с координатами GPS [2,3] формулой:

$$x' = X_{\min} + \frac{(\max X - \min X)}{(X_{\max} - X_{\min})}(x - \min X), \quad y' = Y_{\min} + \frac{(\max Y - \min Y)}{(Y_{\max} - Y_{\min})}(y - \min Y), \quad (1)$$

где x', y' – координаты экрана, x, y – координаты GPS и $0 \leq x' \leq X_{\max}$, $0 \leq y' \leq Y_{\max}$, $\min X < x < \max X$, $\min Y < y < \max Y$.

Курс носителя определяется как угол между меридианом и касательной к траектории движения:

$$C = \arctan\left(\frac{R \cdot \cos \beta \cdot \Delta \alpha_p}{R \cdot \Delta \beta_p}\right) = \arctan\left(\frac{\cos \beta \cdot \Delta \alpha_p}{\Delta \beta_p}\right), \quad (2)$$

где C – угол наклона касательной к траектории движения носителя относительно меридиана, $\Delta \alpha_p, \Delta \beta_p$ – разница координат между следующей и пре-

дыдущей точкой *GPS* по долготе и широте соответственно, β – географическая широта, R – расстояние до центра Земли в конкретной географической координате.

$$R = \sqrt{A^2 \cos^2(\beta) + B^2 \sin^2(\beta)}, \quad (3)$$

где A и B – большая и малая полуоси эллипсоида Красовского.

Находим горизонтальную дальность до цели по формуле:

$$G = \sqrt{L_y^2 - H^2}, \quad (4)$$

где L_y и H – наклонная дальность до цели и глубина соответственно.

Определяем азимут относительно носителя ГБО:

$$D = C + \pi/2 \quad \text{– для правого борта}, \quad (5)$$

$$D = C - \pi/2 \quad \text{– для левого борта}.$$

Зная направление относительно носителя и дальность, вычисляются координаты пикселя планшета по формулам:

$$\alpha_y = \alpha_n + \frac{G \cdot \sin D}{R \cos \beta}, \quad \beta_y = \beta_n + \frac{G \cdot \cos D}{R}. \quad (6)$$

Совмещение планшета со спутниковой картой производится путем замещения пикселей в изображении спутниковой карты в соответствии с координатами (рис.1).

Использование технологии совмещения планшета со спутниковой картой упрощает восприятие гидролокационной информации.

На рис.2 приведен фрагмент эхограммы, на котором имеются цель, представляющая интерес. На эхограмме четко просматривается акустическая тень, свидетельствуя о том, что обнаруженный объект возвышается над дном, однако, форму и размеры объекта и его координаты определить сложно.

Построим 3D-изображение интенсивности сигнала обследуемого объекта (рис.3). Рис.3 дает представление о приблизительных размерах объекта и более выразительно показывает интенсивность сигнала от объекта.

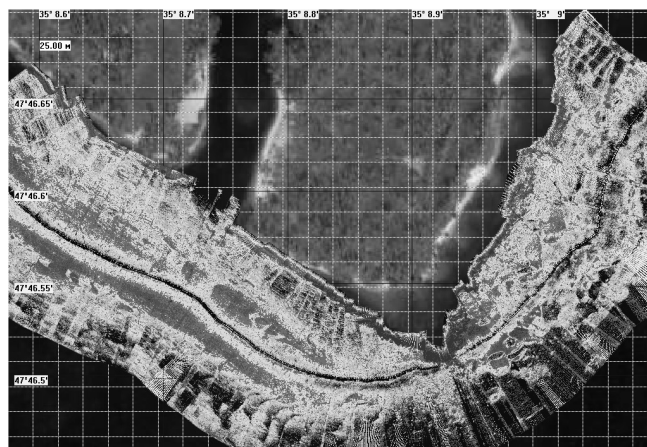
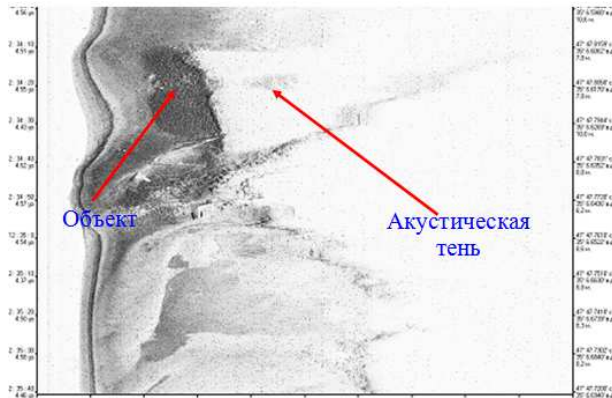


Рис. 1. Совмещение планшета панорамного гидроакустического комплекса со спутниковой картой.



Р и с . 2 . Фрагмент эхограммы.

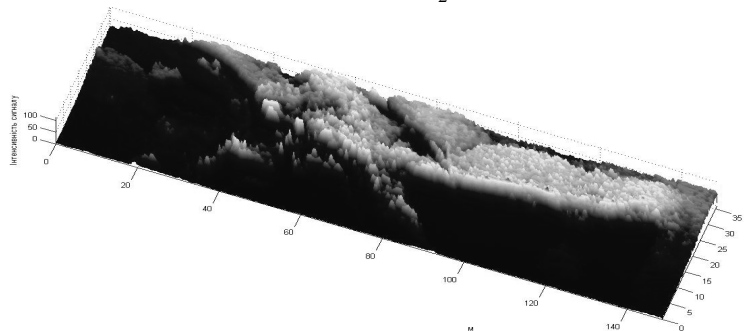
При наложении эхограммы на планшет с привязкой к координатам и совмещении планшета со спутниковой картой, мы видим, что объект лежит недалеко от берега р.Днепр (рис.4).

Теперь можно с высокой точностью определить расстояние и ориентацию относительно берега, географические координаты. Иногда дополнительная информация при наложении эхограммы обследования на планшет с привязкой к координатам и совмещении планшета со спутниковой картой дает представление о природе объекта (например, газо- и нефтепроводы, идущие с суши под воду).

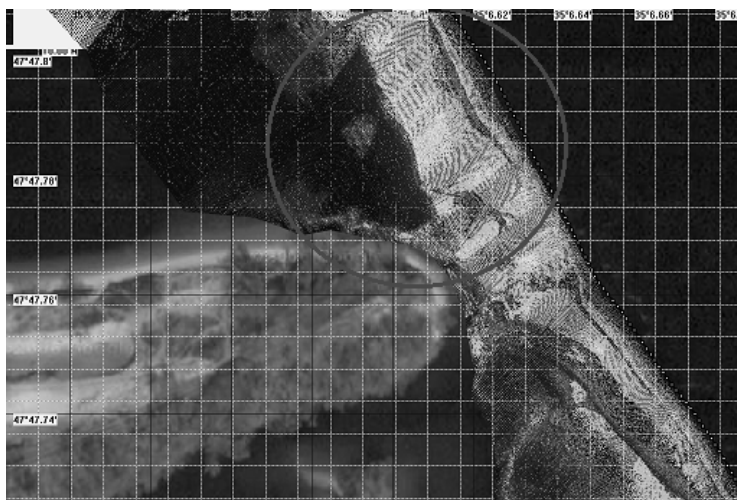
На эхограммах зачастую присутствует изображение эхосигнала от объекта в нескольких местах при различных проходах и разных дальностях. При этом не всегда получается определить какой именно фрагмент необходимо строить на планшете. Поэтому проводится корреляционный анализ пикселей-претендентов с помощью формулы (7) и наносится результат обработки [4].

$$P \left(\bar{X} - t_{\frac{1-\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\frac{1-\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \right), \quad (7)$$

где S – несмещенная выборочная дисперсия выборки при дублировании фрагментов эхограмм, \bar{X} – среднее выборки пикселей планшета, P – вероятностный отрезок, n – мощность выборки, $t_{\frac{1-\alpha}{2}, n-1}$ – значения критерия Стью-



Р и с . 3 . 3D-изображение интенсивности сигнала обследуемого объекта.



Р и с . 4 . Совмещение планшета панорамного гидроакустического комплекса со спутниковой картой.

дента при уровне значимости α , μ – приемлемые значения вероятностей.

Для оценки предельной относительной погрешности построения планшета и совмещения его со спутниковой картой была разработана математическая модель, в которой учтена погрешность, вызванная изменением скорости звука в воде, влиянием углов крена, дифферента и рысканья носителя ГБО, работой устройства *GPS*, методами математического аппарата построения планшета.

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

Погрешность математического аппарата состоит из погрешности методов интерполяции. Оценку точности интерполяции полиномом Лагранжа[4] дает формула:

$$|f(x) - L_n(x)| \leq \frac{M_{n+1}}{(n+1)!}, \quad (8)$$

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

Формула для расчета погрешности экранных координат:

$$\Delta(\alpha_y) = \sqrt{(\Delta\beta)^2 + \left(\frac{\sin D}{R \cos \beta} \Delta G\right)^2 + \left(\frac{G \cdot \cos D}{R \cos \beta} \Delta D\right)^2 + \left(-\frac{G \cdot \sin D}{R^2 \cos \beta} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{G \cdot \sin D \cdot \sin \beta}{R \cos^2 \beta} \Delta\beta\right)^2},$$

$$\Delta(\beta_y) = \sqrt{(\Delta\beta)^2 + \left(\frac{\cos D}{R} \Delta G\right)^2 + \left(-\frac{G \cdot \sin D}{R} \Delta D\right)^2 + \left(-\frac{G \cdot \cos D}{R^2} \Delta R\right)^2}, \quad (9)$$

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.

Выполнение численных расчетов для рис.1, при погрешностью приемника *GPS* 15 м и диапазоне ГБО 200 м показывает, что угловая погрешность определения координат цели $\approx 3,77 \times 10^{-6}$ рад, а линейная погрешность при этом составляет ≈ 24 м.

При уменьшении погрешности *GPS* до 0,05 м получаем: угловая погрешность определения координат цели $\approx 4,39 \times 10^{-8}$ рад, а линейная погрешность при этом составляет ≈ 28 м.

Таким образом, планшет дает возможность быстро и однозначно определить координаты заинтересовавшей цели, дает более точное представление об её форме и размерах.

При исследовании прибрежных зон нанесение планшета на спутниковые карты обеспечивает визуальную наглядность обследуемого участка акватории, позволяет определять место расположения опасных в навигационном смысле подводных объектов при составлении курсов на фарватерах. Использование спутниковых карт дает возможность развивать цифровые технологии в гидроакустике, что весьма перспективно в нынешнее время.

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 междунар. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики-Га-2010».– СПб, 2010.– С.356-358.
2. Берлянт А.М. Картография.– М.: Аспект Пресс, 2002.– 740 с.
3. Серапинас Б.Б. Математическая картография.– М.: Академия, 2005.– 960 с.
4. Роджерс Д. Алгоритмические основы компьютерной графики.– М.: Мир, 1989.– 569 с.

Материал поступил в редакцию 1.12.2011 г.

АНОТАЦІЯ. Розглянуто основи побудови планшета обстежених акваторій гідроакустичного комплексу з нанесенням ехограм дна на супутниковій карті. Обґрунтовано актуальність і практичне значення результатів аналізу інформації побудованого планшета на прикладі сполучення із супутниковою картою і прив'язкою до географічних координат, при моніторингу акваторій. Наведено характерні приклади реально обстежених ділянок.

ABSTRACT. This work represents the basics of the map-case making for inquired areas by the waters sonar system with the application of the bottom echograms on a satellite map. The urgency and practical importance of the analysis of map-case information were substantiated on the example of the interface with the satellite map and geo-referenced in the monitoring of water areas. Typical examples of actual inquired areas were made.