

УДК 681.883.482

КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА СКОРОСТИ НОСИТЕЛЯ В ДОПЛЕРОВСКОМ ЛАГЕ

© А.П. Мартынюк, 2006

АО НИИ «RIF-ACVAAPARAT», г. Бэлць (Республика Молдова)

Розглянуто алгоритм компенсації впливу вертикальної складової вектору швидкості в доплерівському лазі. Надано оцінку погрішності. Наведено графічні залежності.

Рассмотрен алгоритм компенсации влияния вертикальной составляющей вектора скорости в доплеровском лаге. Дана оценка погрешности. Приведены графические зависимости.

An algorithm of compensation of influence of vertical component of speed vector in dopler log is examened. An estimation of error is given. The graphic dependencies are given.

Научные исследования океана, его дна, промышленная разработка шельфа и более глубоких районов океана, прокладка трубопроводов, выполнение спасательных работ не могут обойтись без использования глубоководных обитаемых и необитаемых подводных аппаратов (ПА).

Современные ПА оснащаются навигационными комплексами, в которых информация отдельных подсистем интегрируется с целью повышения надежности и точности навигации. Одним из важных средств навигации ПА является доплеровский лаг.

Из теории лагостроения известно, что наибольшее влияние на результат измерения горизонтальных составляющих скорости носителя (корабля, ПА) имеют совместное воздействие качки и вертикальных перемещений [1, 2].

В настоящей статье рассматривается алгоритм компенсации влияния вертикальных перемещений на результат измерения горизонтальных составляющих скорости носителя.

Рассмотрение проведем для продольной горизонтальной составляющей вектора скорости носителя. Для простоты изложения произведем следующие допущения:

- ориентация лучей характеристики направленности (ХН) антенн диаметрально-траверзное;
- в лаге используется частотно-независимая в доплеровском смысле совмещенная приемо-излучающая антенна;
- время распространения сигнала меньше четверти периода качки;
- в аппаратуру лага вводится информация об углах качки от внешних датчиков.

В большинстве доплеровских измерителей, использующих частотно-независимые в доплеровском смысле антенны с янусными характеристиками направленности в предположении диаметрально-траверзной ориентации лучей ХН, реализуется следующая зависимость

$$V = \frac{f_{д13}}{4f_{и}} \cdot \frac{c}{\cos\alpha}, \quad (1)$$

где $f_{д13} = f_{д1} - f_{д3}$

$f_{д1}, f_{д3}$ – доплеровские частоты по лучам в направлении носа и кормы соответственно;
 c – скорость звука;
 α – угол наклона луча к активной поверхности акустической антенны;
 $f_{и}$ – частота излучаемого сигнала.

В реальных условиях истинные значения доплеровских частот по продольным лучам ХН достаточно точно описываются выражениями

$$f'_{д1} = \frac{2f_{и}}{c} [V_x \cos(\alpha + \alpha_k) + V_z \sin(\alpha + \alpha_k)], \quad (2)$$

$$f'_{д3} = -\frac{2f_{и}}{c} [V_x \cos(\alpha - \alpha_k) + V_z \sin(\alpha - \alpha_k)], \quad (3)$$

где V_z – вертикальная составляющая вектора скорости;
 α_k – текущее значение угла качки.

В таком случае погрешность измерения продольной горизонтальной составляющей вектора скорости, если не принимаются специальные меры компенсации, в соответствии с [1, 3] будет иметь следующую зависимость:

$$\delta V_x = \frac{\Delta V_x}{V_x} = \frac{\alpha_k^2}{2} \pm \frac{V_z}{V_x} \sin \alpha_k. \quad (4)$$

Из (4) видно, что при наличии V_z и отсутствии качки система Янус позволяет эффективно компенсировать влияние V_z . Однако при наличии качки или статических наклонов компенсации V_z не происходит.

На рис. 1 и 2 представлены графические зависимости погрешности δV_x , вычисленные по (4).

Для компенсации влияния V_z предлагается следующий способ, смысл которого сводится к тому, что суммирование, с учетом поправки на угловое положение, доплеровских частот по противоположным лучам соответствующей координаты позволяет получить с определенной точностью информацию о V_z .

Суммируя (2) и (3) и проводя упрощения, приходим к следующему:

$$F_{дх\Sigma} = f'_{д1} + f'_{д3} = -\frac{4V_x f_{и}}{c} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha_k + \frac{4V_z f_{и}}{c} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha_k. \quad (5)$$

После несложных преобразований (5) получаем

$$V_z = \frac{c \cdot F_{дх\Sigma}}{4f_{и} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha_k} + V_x \cdot \frac{\sin \alpha_k}{\cos \alpha_k}. \quad (6)$$

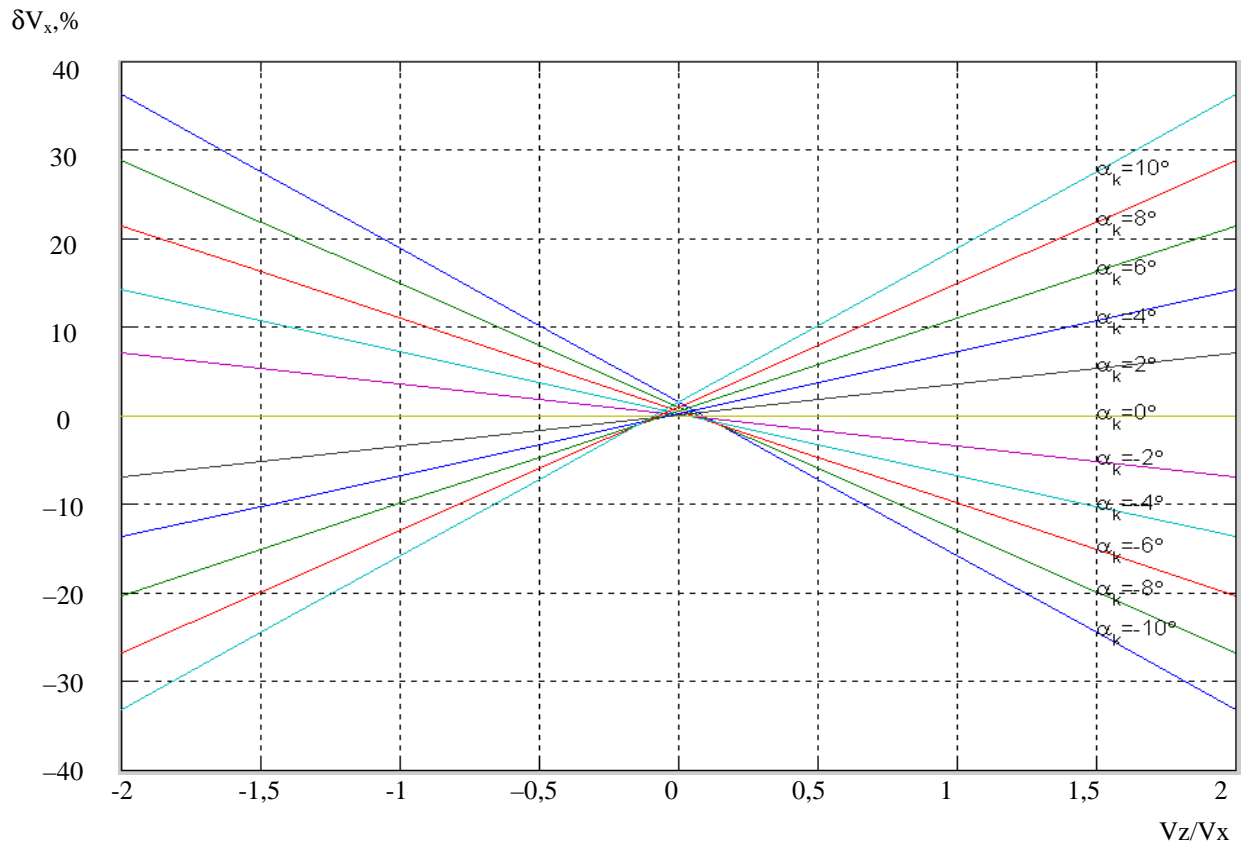


Рис. 1.- Графическая зависимость δV_x от V_z/V_x

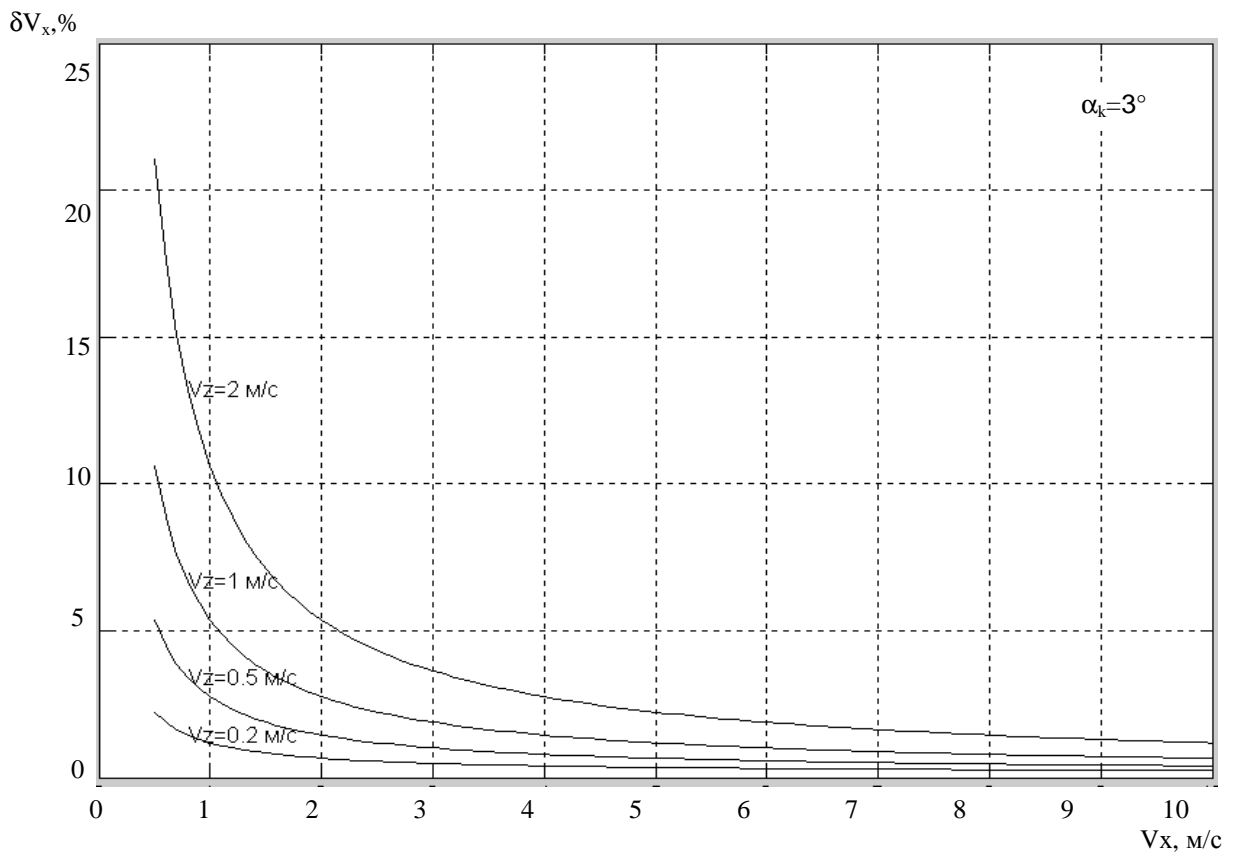


Рис. 2. - Графическая зависимость δV_x от V_x

Выражение для разностной частоты по координате с учетом (2) и (3) будет иметь вид

$$F_{\text{дх}\Delta} = f'_{\text{д1}} - f'_{\text{д3}} = \frac{4V_x f_{\text{и}}}{c} \cdot \cos\alpha \cdot \cos\alpha_k + \frac{4V_z f_{\text{и}}}{c} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha_k. \quad (7)$$

Решив (7) относительно V_x с учетом (6) и проведя упрощающие преобразования, получаем следующее выражение

$$V_{x \text{ расч}} = \frac{1}{4f_{\text{и}}} \left(\frac{c}{\cos\alpha} \cdot F_{\text{дх}\Delta} \cdot \cos\alpha_k - \frac{c}{\sin\alpha} \cdot F_{\text{дх}\Sigma} \cdot \sin\alpha_k \right). \quad (8)$$

Определение скорости по формуле (8) позволяет в значительной степени снизить влияние V_z на результат измерения и уменьшить погрешность.

Погрешность определения V_x для рассматриваемого алгоритма будет определяться в основном, только несоответствием отношения $\frac{c}{\sin\alpha}$ истинным текущим значениям скорости звука и углу наклона луча ХН.

Для частотно-независимых в доплеровском смысле антенн отношение $\frac{c}{\cos\alpha}$ является постоянной величиной, при этом из [2] известно, что

$$\alpha = \arccos\left(\frac{c}{f_{\text{и}} \cdot 2d}\right), \quad (9)$$

где d – расстояние между элементами в фазированной антенной решетке.

Расстояние d выбирается, исходя из следующего соотношения

$$d = \frac{c_0}{2f_{\text{и}} \cdot \cos\alpha_0}. \quad (10)$$

Принято $c_0 = 1475$ м/с; $\alpha_0 = 65,5^\circ$; $d \approx 0,076$ м.

Погрешность, получающаяся за счет применения формулы (8), определим как

$$\delta V_x = \frac{V_{x \text{ расч}} - V_x}{V_x} = \frac{V_{x \text{ расч}}}{V_x} - 1. \quad (11)$$

С учетом (5), (7), (9), после подстановки и преобразования выражение (8) примет вид

$$V_{x \text{ расч}} = V_x \left\{ \cos^2 \alpha_k + \frac{V_z}{V_x} \sin \alpha_k \cos \alpha_k - \frac{c_0}{c} \frac{\sin \left(\arccos \left(\frac{c}{c_0} \cos \alpha_0 \right) \right)}{\sin \alpha_0} \times \left[-\sin^2 \alpha_k + \frac{V_z}{V_x} \cos \alpha_k \sin \alpha_k \right] \right\} \quad (12)$$

Обозначим

$$K = \frac{c_0}{c} \sin \left(\arccos \left(\frac{c}{c_0} \cos \alpha_0 \right) \right), \quad (13)$$

тогда после преобразования получаем

$$\delta V_x = \sin \alpha_k (1-K) \left[\frac{V_z}{V_x} \cos \alpha_k - \sin \alpha_k \right]. \quad (14)$$

Графические зависимости погрешности, вычисленной по (14), представлены на рис. 3.

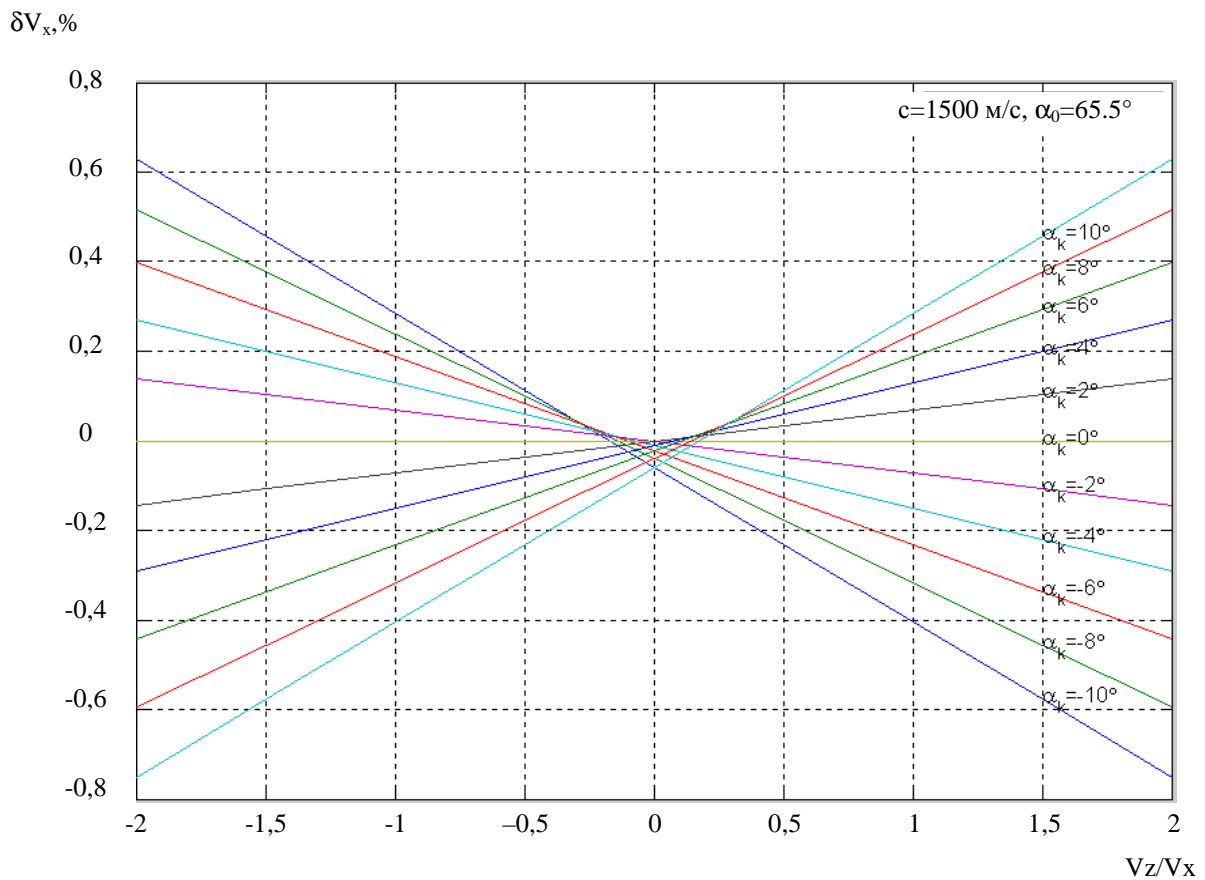


Рисунок 3.

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что океан является слоисто-неоднородной структурой, где скорость звука в каждом слое имеет свое значение, угол наклона луча α к

антенне зависит только от скорости звука в месте расположения антенн [3]. При наличии информации о скорости звука в окрестности антенны, с учетом выражений (9), (10), ввод поправки на скорость звука в воде во второй член выражения (8) позволит снизить погрешность δV_x до пренебрежительно малых значений во всем диапазоне изменения скорости звука в воде.

Особенно важна компенсация или учет влияния V_z при навигации ПА, поскольку в траектории движения ПА присутствуют все три компоненты вектора скорости, причем по величине часто соизмеримые.

Применение рассмотренного алгоритма позволит в значительной степени снизить погрешность за счет V_z и повысить достоверность исчисляемых навигационных параметров.

Литература

1. Судовые измерители скорости: Справ. / А.А.Хребтов, В.Н.Кошкарев, Б.А.Осюхин и др. - Л.: Судостроение, 1978. - 286 с.
2. Виноградов К.А., Кошкарев В.Н., Осюхин Б.А., Хребтов А.А. Абсолютные и относительные лаги. – Л.: Судостроение, 1990. - 264 с.
3. Бородин В.И., Смирнов Г.Е., Толстякова Н.А., Яковлев Г.В. Гидроакустические навигационные средства. – Л.: Судостроение, 1983. - 264 с.