

Рассмотрим глубины 3.5 м и 4.0 м. Соответственно вышеизложенному получим

$$k_{21} = \frac{\ln\left(\frac{8.38}{8.39}\right)}{2 \cdot 0.5} (M^{-1}) \quad (17)$$

Рассмотрим данные второй зоны. Рассматриваются результаты измерений на глубинах 3.0 м и 3.5 м.

Имеем

$$\eta = \frac{8.59}{8.28} \quad (18)$$

По аналогии с (15) получим

$$0.5 = \frac{\ln\left(\frac{8.59}{8.28}\right)}{2k_{12}} \quad (19)$$

Из (19) получим

$$k_{12} = \frac{\ln\left(\frac{8.59}{8.28}\right)}{2 \cdot 0.5} (M^{-1}) \quad (20)$$

Рассмотрим глубины 3.5 м и 4.0 м. Соответственно (20) получим

$$k_{22} = \frac{\ln\left(\frac{8.28}{7.98}\right)}{2 \cdot 0.5} (M^{-1}) \quad (21)$$

Как показали проведенные вычисления коэффициентов k_{11} , k_{21} , k_{12} и k_{22} разница в вычисленных их значениях не превышало $\pm 465\%$. Следовательно, можно заключить, что погрешность предлагаемого способа картирования глубины рельефа дна не будет превышать $\pm 4,5\%$.

5. Заключение

Сформирована и решена задача разработки способа картирования рельефа дна неглубоководных водоемов с помощью лазерного излучателя, установленного на борту летательного аппарата. На основе геометрического представления хода оптических лучей в лазерной батиметрии и анализа известных результатов измерений предложена ступенчатая модель дна водоема, где высота и ширина ступенек изменяются в широких пределах. На основе известного метода картирования дна неглубоководного водоема с одной точки предложен способ двухточечного измерения с применением ступенчатой модели дна. Проведенные модельные исследования показали, что погрешность измерения предложенного способа находится в пределах $\pm 4,5\%$.

УДК 551.463

DOI: 10.34046/aumsuomt102/11

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ОБНАРУЖИВАЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МАЛОЙ ГЛУБИНЕ ВОДОЕМОВ

А.А. Гаджиев, аспирант (Азербайджанская Республика)

Р.А. Эминов, доцент, (Азербайджанская Республика)

Х.Г. Асадов, доктор технических наук, профессор (Азербайджанская Республика)

Сформулирована и решена задача незаметного для лазерного батиметрического обнаружителя размещения объектов на дне водоемов малой глубины. Предполагается что батиметрический обнаружитель установлен на летательном аппарате. Рассматривается среднеинтегральная модель батиметрического

Литература

1. Long B. F., Aucoin F., Montreuil S., Robitaille V., Xharde R. Airborne LIDAR bathymetry applied to coastal hydrodynamic processes.
2. Lee Z., Shangguan M., Garcia R. A., Lai W., Lu X., Wang J., Yan X. Confidence measure of the shallow – water bathymetry map obtained through the fusion of lidar and multiband image data// Journal of Remote Sensing. 2021. ID 9841804. Pp. 16. <https://doi.org/10.34133/2021/9841804>.
3. Mandlbürger G., Pfennigbauer M., Pfeifer N. Analyzing near water surface penetration in laser bathymetry – a case study at the river Pielach// Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2013. Vol. II-5/W2. ISPRS Workshop Laser Scanning 2013 11-13 November, Antalya, Turkey.
4. Zhao J., Zhao X., Zhang H., Zhou F. Shallow water measurements using a single green laser corrected by building a near water surface penetration model// Remote Sensing.
5. Zhang Z., Zhang J., Ma Y., Tian H., Jiang T. Retrieval of Nearshore bathymetry around Ganquan Island from LIDAR waveform and quickbird image// Applied Science.
6. Zdravcheva N., Todorov P. Airborne laser (LIDAR) bathymetry for precision capture and survey of river beds and belonging territories.
7. Kasvi E., Salmela J., Lotsari E., Kumpula T., Lane S. N. Comparison of remote sensing based approaches for mapping bathymetry of shallow, clear water rivers//Geomorphology. 2019. Vol. 333. Pp. 180-197. www.elsevier.com/locate/geomorph.
8. Richter K., Mader D., Westfeld P., Maas H-G. Refined geometric modeling of laser pulse propagation in airborne LIDAR bathymetry// PFG. 2021. Vol. 89. Pp. 121-137. <https://doi.org/10.1007/s41064-021-00146-z>.
9. Allouis T., Bailly J. S., Feurer D. Assessing water surface effects on LIDAR bathymetric measurements in very shallow rivers: a theoretical study.
10. Wang C. K., Philpot W. D. Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters// Remote Sensing of Environment. 2007. Vol. 106. Pp. 123-135.

обнаружения донных объектов с помощью луча лазерного источника на отражение от объекта. Показано, что среднееинтегральная величина относительной величины сигнала, отраженного от донных объектов будет иметь минимум при обеспечении обратной логарифмической зависимости высоты обнаруживаемых объектов от отношения коэффициентов отражения объекта и дна. Такой минимальный отраженный сигнал гарантирует минимальную вероятность обнаружения размещенных на дне объектов.

Ключевые слова: батиметрия, измерения, отражение, донный объект, БПЛА

SOLUTION OF THE PROBLEM OF PROVIDING THE MINIMUM DETECTIVITY OF VARIOUS OBJECTS AT A SHALLOW DEPTH OF WATER BODIES

Gadzhiev A.A., Eminov R.A., Asadov Kh.G.

The problem of placement of objects at the bottom of shallow water bodies, imperceptible for a laser bathymetric detector, is formulated and solved. It is assumed that the bathymetric detector is installed on the aircraft. A mean-integral model of bathymetric detection of bottom objects using a beam of a laser source for reflection from an object is considered. It is shown that the average integral value of the relative value of the signal reflected from bottom objects will have a minimum when providing the inverse logarithmic dependence of the height of the detected objects on the ratio of the reflection coefficients of the object and the bottom. Such a minimum reflected signal guarantees a minimum probability of detecting objects placed on the bottom.

Keywords: bathymetry, measurements, reflection, bottom object, UAV

1. Введение

Необходимость размещения объектов на дне водоемов возникает при решении задач временного подводного хранения различных токсичных веществ, взрывоопасных предметов, складирования оборудования для проведения подводных работ. Очевидно, что отмеченные на специальных картах места размещения таких предметов должны быть незаметными для внешнего наблюдения.

Предполагаемый поиск или случайное обнаружение таких донных объектов может быть осуществлено батиметрическим методом, т.е. методом оценки толщи воды над такими объектами.

Хорошо известно, что радары или сонары используют принцип измерения временного промежутка между моментом запуска зондирующего сигнала и моментом приема сигнала.

В тоже время самолетные лазерные измерители используют принцип измерения промежутка времени между достижением лазером поверхности водной среды и достижением поверхности подвод-

ного искомого объекта [1]. Вместе с тем, с развитием беспилотной летательной техники разница между этими принципами существенно уменьшилась. Следовательно, анализ работы низколетящего беспилотного летательного аппарата (БПЛА), снабженного лазерным батиметрическим излучателем может быть осуществлен с учетом некоторых упрощений, применительно к различным атмосферным эффектам, влияющим на величину и форму принимаемого с объекта отраженного сигнала.

С учетом вышеизложенного вкратце рассмотрим возможность введения таких упрощений в целях дальнейшей оптимизации работы лазерного батиметрического обнаружителя размещенных на дне объектов.

2. Общая схема проведения батиметрического обнаружения малых донных объектов с использованием лазерных излучателей на борту БПЛА.

Общая схема проведения лазерных измерений с использованием низколетящего БПЛА показана на рис. 1.

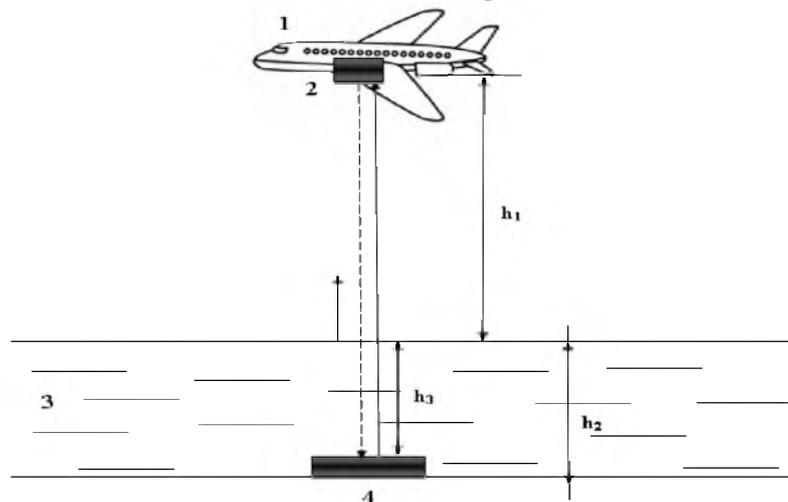


Рисунок 1 – Общая схема проводимых лазерных измерений с помощью низколетящего БПЛА, на борту которого установлен лазерный излучатель. Цифрами указаны: 1 – БПЛА; 2 – лазерный излучатель; 3 – водное пространство; 4 – подводный объект

Как было сказано выше, считаем, что высота h_1 настолько низка, что для дальнейшего анализа различными атмосферными эффектами можно пренебречь. В этом случае задача обнаружения подводного объекта в основном может быть решена путем уверенной регистрации разницы ΔP между сигналами, отраженными и от дна моря P_1 и от подводного искомого предмета P_2 . Таким образом, требуется выполнение следующего условия

$$\frac{\Delta P}{\sigma_{\Sigma}} = \frac{|P_1 - P_2|}{\sigma_{\Sigma}} \geq \chi \quad (1)$$

где σ_{Σ} – суммарные шумы в системе; χ – пороговая величина отношения сигнал/шум, когда обеспечивается уверенная регистрация сигнала.

3. Оптимизация порядка размещения складываемых на дне объектов для достижения их минимальной внешней обнаруживаемости.

Проанализируем такой порядок размещения складываемых объектов при котором батиметрическая аппаратура, используемая для их обнаружения, выдавала бы минимальный сигнал на выходе. Для проведения такого анализа прежде всего рассмотрим принцип работы самого лазерного батиметрического измерителя. Согласно [2-4], для оценки величины сигнала при проведении лазерных батиметрических измерений должны быть учтены такие показатели, как выходная мощность лазера P_0 , коэффициент суммарных потерь оптической системы η ; площадь апертуры приемника A_r ; высота полета БПЛА – h_1 ; коэффициент рефракции воды η_w ; коэффициент отражения Френеля на границе воздух – вода ρ_w ; h_2 – длина пути прохождения луча под водой; коэффициент ослабления воды k ; коэффициент отражения дна ρ_b .

Сигнал отраженный от дна согласно [3,4] определяется при $\tau_a = 0$ как

$$P_{b1} = P_0 A_r \eta (1 - \rho_w)^2 [\exp(-2h_2 k)] \frac{P_b}{\pi} \quad (2)$$

В соответствии с (2) сигнал, отраженный от искомого донного объекта определим, как

$$P_{ob1} = P_0 A_r \eta (1 - \rho_w)^2 [\exp(-2h_3 k)] \frac{P_{ob}}{\pi} \quad (3)$$

где ρ_{ob} – коэффициент отражения объекта.

В работе [5] было показано, что при малой глубине (< 13 м) формула (2) может быть записана как

$$P_{b2} = \frac{P_0 W \cdot \rho_b}{\pi} \exp(-2h_2 k) \quad (4)$$

Для сигнала, отраженного от донного предмета по аналогии с (4) напомним

$$P_{ob2} = \frac{P_0 W \cdot \rho_{ob}}{\pi} \exp(-2h_3 k) \quad (5)$$

где ρ_{ob} – коэффициент отражения подводного объекта.

Вычислим отношение

$$\gamma = \frac{P_{ob2}}{P_{b2}} \quad (6)$$

С учетом (4), (5), (6) имеем

$$\gamma = \frac{\rho_b}{\rho_{ob}} \exp[-(2h_2 k - 2h_3 k)] = \frac{1}{\chi} \exp[2k \cdot h_{ob}] \quad (7)$$

где h_{ob} – высота объекта, определяемая как $h_{ob} = h_2 - h_3$; $\chi = \frac{\rho_{ob}}{\rho_b}$; χ – относительная величина коэффициента отражения объекта.

Допустим, что имеем множество подводных объектов, показатель χ – которых составляет упорядоченное множество (8).

$$\chi = \{\chi_1, \chi_2 \dots \chi_j \dots \chi_n\} \quad (8)$$

При этом

$$\chi_j = \chi_{n-j-1} + \Delta\chi; j = \overline{1, n}; \Delta\chi = \text{const}$$

На основе (7) и (8) вычислим суммарный показатель $\sum_{j=1}^n \gamma_j$, обозначаемый далее как α .

Имеем:

$$\alpha = \sum_{j=1}^n \gamma_j = \sum_{j=1}^n \chi_j \cdot \exp[-2k h_{obj}] \quad (9)$$

Введем на рассмотрение функцию связи

$$h_{obj} = \varphi(\chi_j) \quad (10)$$

Отметим, что функция (10) определяет желаемую искомую связь между h_{ob} и χ , при которой показатель γ имел бы экстремальную величину.

Для нахождения конкретного вида функции (10) несколько сузим класс возможных рассматриваемых функций и потребуем выполнения следующего условия

$$\sum_{j=1}^n \varphi(\chi_j) = C_1 \quad (11)$$

Выражения (9) и (11) в непрерывной форме могут быть представлены следующим образом

$$\alpha = \int_0^{\chi_{max}} \left(\frac{1}{\chi}\right) \cdot \exp[-2k h_{ob}(\chi)] d\chi \quad (12)$$

$$\int_0^{\chi_{max}} \varphi(\chi) d\chi = C_2; C_2 = \text{const} \quad (13)$$

С учетом (12) и (13) составим вариационную задачу оптимизации. Целевой функционал при этом будет иметь вид

$$F = \int_0^{\chi_{max}} \left(\frac{1}{\chi}\right) \cdot \exp[-2k h_{ob}(\chi)] d\chi + \lambda \left[\int_0^{\chi_{max}} \varphi(\chi) d\chi - C_2 \right] \quad (14)$$

Согласно [6], решение задачи (14) должно удовлетворять условию:

$$\frac{d\left\{\left(\frac{1}{\chi}\right) \exp[-2k h_{ob}(\chi)] + \lambda \cdot h_{ob}(\chi)\right\}}{dh_{ob}(\chi)} = 0 \quad (15)$$

Из условия (15) получаем:

$$\frac{-2k}{\chi} \cdot \exp[-2k h_{ob}(\chi)] + \lambda = 0 \quad (16)$$

Из (16) находим

$$\exp[-2k h_{ob}(\chi)] = \frac{\lambda \cdot \chi}{2k} \quad (17)$$

Из (17) получим

$$-2k h_{ob}(\chi) = \ln \frac{\lambda \cdot \chi}{2k} \quad (18)$$

или

$$h_{ob}(\chi) = \frac{1}{2k} \ln \frac{2k}{\lambda \chi} \quad (19)$$

С учетом (13) и (19) может быть вычислена значение λ , величина которого обозначается далее, как λ_0 .

С учетом (12) и (19) получим

$$\alpha_{extr} = \int_0^{\chi_{max}} \frac{1}{\chi} \exp \left[-\ln \frac{2k}{\lambda_0 \chi} \right] d\chi = \int_0^{\chi_{max}} \frac{1}{2k} d\chi = \frac{\lambda_0 (\chi_{max} - 1)}{2k} \quad (20)$$

При этом средняя величина α_{cp} будет равна

$$\alpha_{cp} = \frac{\lambda_0}{2k} \quad (21)$$

Покажем, что эта величина отлична от единицы.

С учетом (13) и (19) имеем

$$\frac{1}{2k} \int_0^{\chi_{max}} \frac{2k}{\lambda \cdot \chi} d\chi = C_2 \quad (22)$$

Как видно из (22) значение λ зависит от значения C_2 и всегда имеется возможность выбора такой величины C_2 при которой $\alpha_{cp} \neq 1$.

Следует отметить, что решение (19) обеспечивает минимум целевого функционала (14). В этом можно убедиться взяв повторную производную интегранта в (14) по искомой функции результат которой будет положительной величиной. Это означает, что если обеспечить выполнения условия (19), то можно добиться максимальной внешней незаметности размещенных на дне объектов.

4. Пример практического применения полученных результатов

Рассмотрим случай, когда на морском дне установлен объект в виде “подводной горы”.

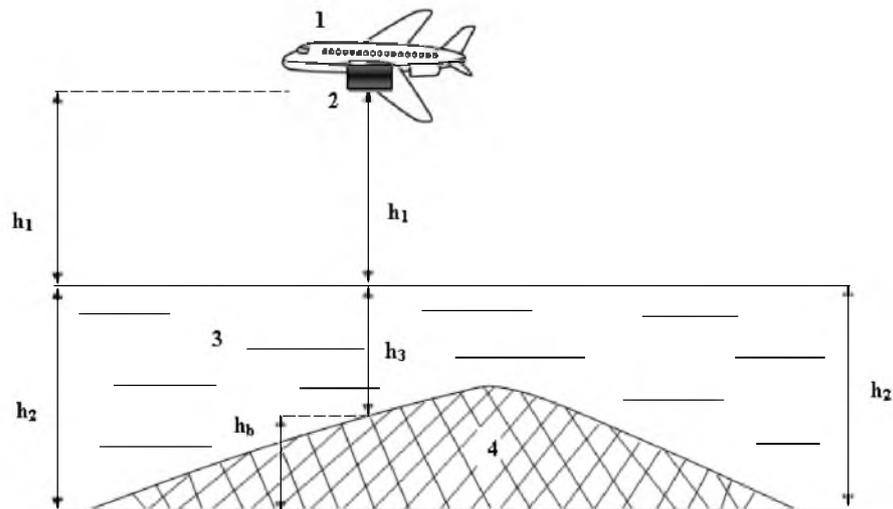


Рисунок 2 – Общая схема батиметрического обнаружения подводного объекта. Цифрами обозначены: 1 – БПЛА; 2 – лазерный измеритель; 3 – морская вода; 4 – подводный объект типа возвышенности

Следовательно, если $h_{воз}$ и $\rho_{воз}$ изменяется парафазно т.е. рост $\rho_{воз}$ приводит к уменьшению $h_{воз}$, и наоборот, уменьшение $\rho_{воз}$ сопровождается увеличением $h_{воз}$, то на вход приемника поступит минимальный сигнал, что является желаемым в данном случае для обеспечения минимальной обнаруживаемости донных объектов.

5. Заключение

Схема соответствующего батиметрического обнаружения показана на рис. 2.

В рассматриваемом случае исследуется искусственная подводная возвышенность, высота которой (h_b) изменяется по ходу полета. По ходу полета также изменяется коэффициент отражения поверхности подводной возвышенности.

В данном случае весь вышеприведенный анализ остается в силе при условии замены $P_{об}$ на $P_{воз}$, где $P_{воз}$ – сигнал отраженный от поверхности возвышенности; а также $\rho_{об}$ на $\rho_{воз}$, $\rho_{воз}$ – коэффициент отражения поверхности возвышенности.

При этом параметры γ и χ будут определены как

$$\gamma = \frac{P_{воз}}{P_{b2}} \quad (23)$$

где P_2 – сигнал от участка дна, где отсутствует возвышенность.

$$\chi = \frac{\rho_{воз}}{\rho_b} \quad (24)$$

Высота возвышенности h_b определится как

$$h_b = h_2 - h_3 \quad (25)$$

В этом случае ранее полученный результат в виде

$$h_{воз}(\chi) = \frac{1}{2k} \ln \frac{2k}{\lambda_0 \chi} \quad (26)$$

можно переписать как

$$\frac{\rho_{воз}}{\rho_b} = \frac{2k}{\lambda_0 \chi} \cdot \exp(-2h_{воз}k) \quad (27)$$

Предложен метод обеспечения минимальной обнаруживаемости установленных на дне складированных объектов. Определен порядок складирования различных объектов на дне, при котором обеспечивается их скрытность для батиметрического обнаружителя донных объектов с использованием лазерного источника, установленного на БПЛА. Показано, что среднеинте-

гральная величина относительной величины сигнала, отраженного от донных объектов будет иметь минимум, при обеспечении обратной логарифмической зависимости высоты обнаруживаемых объектов от отношения коэффициентов отражения объекта и дна.

Литература

1. Carr D. A. Study of the target detection capabilities of an airborne LIDAR bathymetry system// In Partial Fulfillment of the requirements for the Degree Master of Science in the School of Electrical and Computer Engineering. Georgia Institute of Technology. May 2013.
2. Philpot W. Airborne laser hydrography II.
3. Feigels V. I., Evans B., Feigels L., Guenther G. C., Kopilevich Y. I. Prediction of bathymetric lidar performance with Ocean Scientific 2001 simulation code// In R. J. Frouin & G. D. Gilbert. SPIE 4488. Ocean Optics^ Remote Sensing and Underwater Imaging. San Diego, CA. Pp. 61-70.
<http://doi.org/10.1117/12.452826> .
4. Guenther G. C. Airborne Laser Hydrography: System design and performance factors// Rockville, MD: NOAA Professional Paper Series, National Ocean <http://shoals.sam.usace.army.mil/downloads/Publications/AirborneLidarHydrography.pdf>.
5. Wang C. K., Philpot W. D. Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters// Remote Sensing of Environment. 2007. Vol. 106(1). Pp. 123-135.
<http://doi.org/10.106/j.rse.2006.08.003> .
6. Элсгольд Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление.// М. Наука. 1974. Стр. 432.

УДК 656

DOI: 10.34046/aumsuomt102/12

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИСТИННОГО ДВИЖЕНИЯ

Ж. Жумаев, доктор технических наук, профессор (Республика Казахстан)

К. Жумаев, (Республика Казахстан)

А. Рахидуллин, магистрант, (Республика Казахстан)

Б. Тенелгенов, магистрант, (Республика Казахстан)

Т. Жардем, магистрант, (Республика Казахстан)

В статье описаны исследование изменения элементов относительного движения от изменения элементов истинного движения судов. Исследования направлены на определение показатели эффективности маневра для избежание нежелательного сближения судов, чтобы иметь полную информацию о ситуации и ее дальнейшем развитии.

Ключевые слова: Определение показатели эффективности маневра, РЛС-САРП, МППСС-72, ситуация сближения, антенны радара судна, для избежание нежелательного сближения судов.

STUDY OF CHANGES IN THE ELEMENTS OF THE RELATIVE MOVEMENTS FROM CHANGING THE ELEMENTS OF TRUE MOVEMENT

Zh. Zhumaev, K. Zhumaev, A. Rahidullin, B. Tenelgenov, T. Zhardem

1. Введение

В предыдущей статье были рассмотрены зависимость элементов относительного движения от истинных элементов движения судов. Любой из этих видов маневра может быть результативным, только при правильном выборе маневра и дистанции расхождения судов [1].

В данной статье исследования будут на определение показатели эффективности маневра для избежание нежелательного сближения судов, чтобы иметь полную информацию о ситуации и ее дальнейшем развитии.

Статья подготовлена как дополнительный материал для судоводителей, занимающихся на радиолокационном тренажере по курсу «Радиолокационная станция и система автоматизированная радиолокационная прокладка» (Рис. 1).

Оно может быть использована на судах как

для самоподготовки, так и для подготовки судоводителей в Морском учебно-тренажерном центре высших морских учебных заведениях.

Статья состоит из дополнения к основному курсу и рекомендации по использованию судовых радаров для предупреждения столкновений судов и показывает зависимость элементов относительного движения от изменения элементов истинного движения судов.

Опыт работы на радиолокационном тренажерном комплексе показал, что судоводителю, взявшемуся за управление судна, не дано права на ошибку по обработке и использованию информации в процессе перемещения судов.

Цель - понимание судоводителем этого процесса, умение описывать его и качество программирования развития ситуации по времени от начала её развития до полного расхождения,