



УДК 629.5.052

**Плющаев Валерий Иванович**, заведующий кафедрой радиоэлектроники,  
e-mail: vip3345@yandex.ru

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,  
Россия.

## **КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ СУДНА ОТНОСИТЕЛЬНО ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ**

*Аннотация.* В статье обосновываются требования к характеристикам лазерной судовой подсистемы измерения расстояний до окружающих объектов. Подсистема предназначена для обеспечения в реальном времени судоводителя оперативной информацией о процессе швартовки – расстояниях до причальной стенки, скоростях сближения носа и кормы с причальной стенкой, визуализации положения корпуса судна относительно причальной стенки. Оценены зависимости погрешностей измерения расстояний от конструктивных особенностей лазерных дальномеров.

*Ключевые слова:* швартовые операции, лазерные дальномеры, средства измерения параметров движения судов, погрешности измерения расстояний.

Весьма сложной операцией для судоводителя является швартовка. Ее выполнение требует разработки как новых аппаратных средств контроля операции швартовки, так и алгоритмического обеспечения выполнения различных этапов швартовки. В настоящее время эксплуатируются различные виды систем для измерения расстояний до причальной стенки и окружающих объектов – ультразвуковые, радиотехнические, лазерные [например, 1-4]. Однако практически все известные системы контроля швартовки устанавливаются на причальной стенке. Это вполне оправдано при использовании в крупных морских портах для обслуживания большого количества судов. На речном водном транспорте (в частности, при пассажирских перевозках) суда швартуются у причалов различных типов и размеров (железобетонных причальных стенок, плавучих дебаркадеров и пр.), оборудование которых системами контроля процесса швартовки экономически нецелесообразно. Требуется создание автономной (устанавливаемой на судне) системы контроля швартовых операций.

Важнейшей функцией системы контроля швартовых операций является измерение расстояний до причальной стенки и окружающих объектов и вычисление на основе этих измерений параметров швартовки. Основой такой системы могут быть лазерные дальномеры, обладающие высокой точностью, надежностью, относительно низкой стоимостью.

Целью статьи является обоснование технических характеристики лазерной судовой подсистемы измерения расстояний для судна (ПИРС) и оценка возможности их применения на судах речного флота.

Макет ПИРСа предполагается опробовать на пассажирском судне «Золотое кольцо» (длина судна 83 м). Лазерный дальномер имеет очень узкую диаграмму направленности (расстояние до объекта определяется строго по лучу лазера). В работе [5] обоснованы



требования к расположению лазерных дальномеров по бортам судна. Показано, что при расположении датчиков вдоль борта на практике невозможно обеспечить параллельность лучей, что приводит к неприемлемой для практического применения погрешности измерений (до десятков метров).

Погрешность измерений можно значительно снизить, объединяя датчики в пары с фиксированным углом  $\alpha$  между лучами (рис. 1). Исходя из конструктивных особенностей судна, датчики могут быть размещены на расстоянии 35 м друг от друга (3 пары на борту). Требуется оценить конструктивные параметры дальномеров – обосновать выбор величины угла  $\alpha$  и оценить погрешность измерения расстояний. Примем размер операционной зоны швартовых операций равным длине судна  $L = 83$  м. На этом расстоянии ПИРС должна обеспечить измерение расстояний, скоростей приближения судна к причальной стенке и визуализацию его положения относительно причальной стенки. В зависимости от расстояния до причальной стенки и угла  $\alpha$  (положение а или б на рис.1) можно получить различное число измеренных баз  $B_i$  (4 для положения а и 6 для положения б). Целесообразно выбрать величину угла  $\alpha$  таким образом, чтобы обеспечить при расстоянии до стенки  $H \approx L$  измерение 6 баз (положение б на рис. 1). При этом угол  $\alpha = 24^\circ$ , а величина  $B_i \approx 35$  м (эти величины являются верхней оценкой).

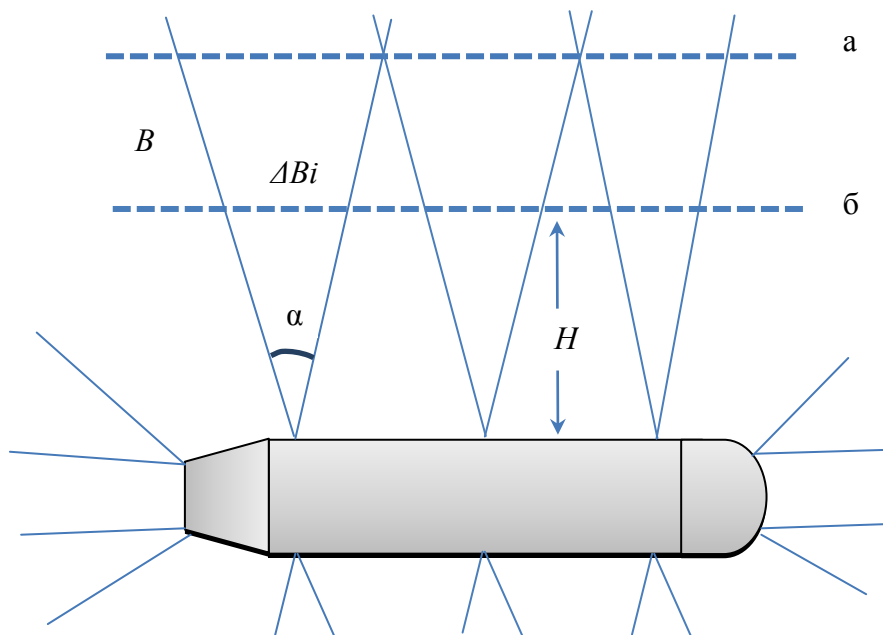


Рисунок 1. Вариант расположение лазерных дальномеров

Зависимость  $\Delta B_i$  от расстояния до причальной стенки  $H$  и угла  $\alpha$  между лучами представлены на рис. 2.

Погрешность измерения базы  $\Delta B_i$ , вызванная отклонением  $\pm \Delta\alpha$  установки угла  $\alpha$  при изготовлении дальномера определяется следующим выражением (где  $B_0$  – величина базы при установке дальномеров под углом  $\alpha$ )

$$\Delta R = B_i - B_0 = H \left( \frac{1}{\cos(\alpha/2 \mp \Delta\alpha)} - \frac{1}{\cos(\alpha/2)} \right).$$

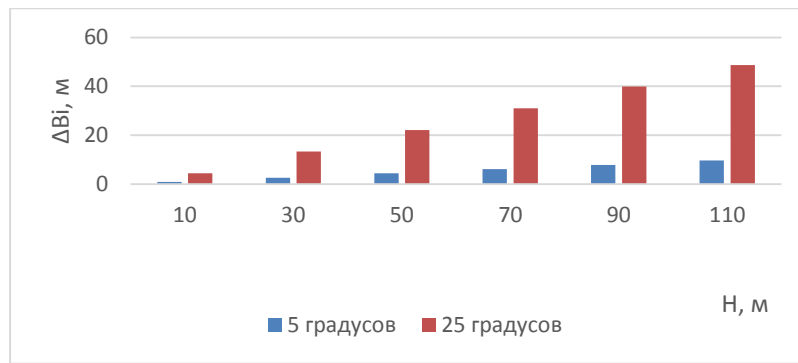
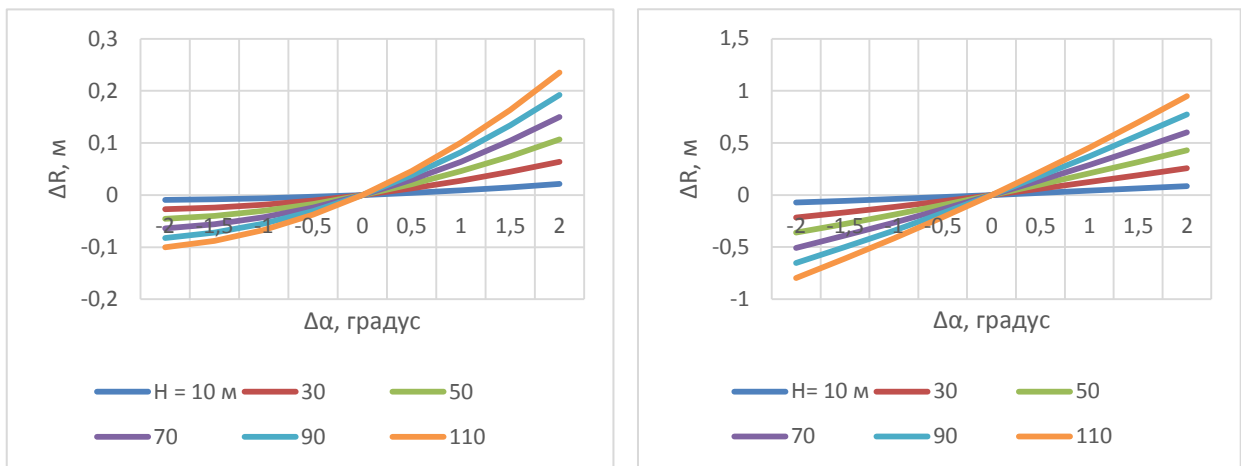


Рисунок 2. Зависимость  $\Delta B_i$  от расстояния до причальной стенки  $H$  и угла  $\alpha$  между лучами

Результаты расчетов погрешностей измерения базы для двух углов ( $\alpha = 5^\circ$  и  $\alpha = 25^\circ$ ) установки дальномеров представлены на рис. 3. Погрешности, вызванные неточностью установки угла  $\alpha$  даже при ошибке в 2 градуса не превышают метра на расстояниях сравнимых с длиной судна, что более чем достаточно для практического использования.



а).

б).

Рисунок 3. Погрешность измерения базы  $B_i$ : а).  $\alpha = 5^\circ$ , б).  $\alpha = 25^\circ$

Серьезной проблемой является качка судна. На рис. 4 приведены результаты расчетов  $h$  (величины подъема/опускания луча лазера относительно горизонтальной плоскости установки приборов) при изменении крена судна  $\gamma$  в пределах от  $-5^\circ$  до  $5^\circ$ .

При крене судна подъем/опускание лазерного луча относительно плоскости установки дальномеров достигает неприемлемых величин даже при небольших расстояниях от причальной стенки. Луч может либо подниматься над причальной стенкой, либо «упираться» в водную поверхность.

При измерении на расстояниях сравнимым с длиной корпуса судна крен судна не должен превышать диапазона  $-1^\circ < \gamma < 1^\circ$ . На расстояниях до 30 м допустимый крен составляет  $\pm 3^\circ$ , на расстоянии до 10 м – около  $\pm 5^\circ$ .

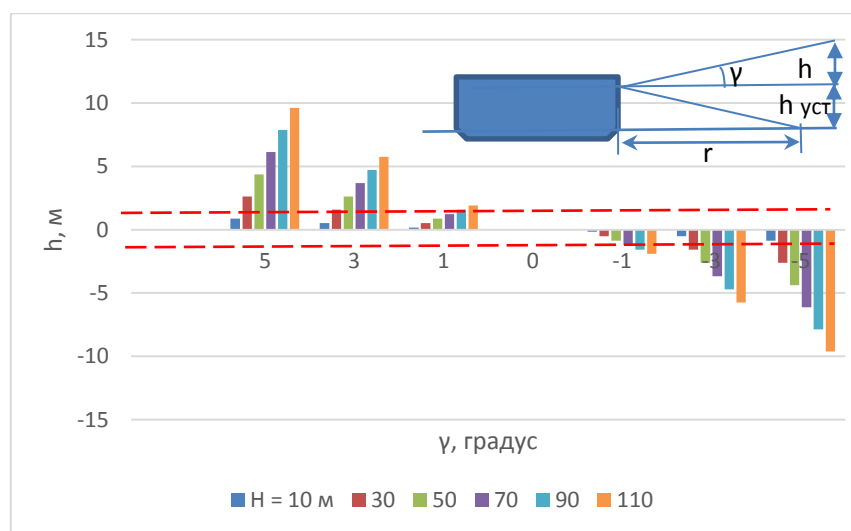


Рисунок 4. Зависимость величины подъема/опускания луча от угла крена  $\gamma$

Как отмечалось выше, при крене лазерный луч может «упираться» в водную поверхность. В этом случае будет измеряться расстояние не до причальной стенки, а до точки пересечения лазерного луча с водной поверхностью, т.е. при таком крене сужается область действия лазерного дальномера до величины  $r$  (обозначения приведены на рис. 4). За пределами этой зоны измеренные значения расстояния недостоверны. Зависимость области работоспособности  $r$  от высоты установки дальномеров над водной поверхностью ( $h_{уст} = 1, 1,5$  и  $2$  м) при разных углах крена  $\gamma$  приведены на рис. 5. При установке дальномеров на высоте 1 м над поверхностью воды и крене  $\gamma = -5^\circ$  зона работоспособности не превышает 10 м. При крене в обратную сторону зона работоспособности определяется высотой причальной стенки.

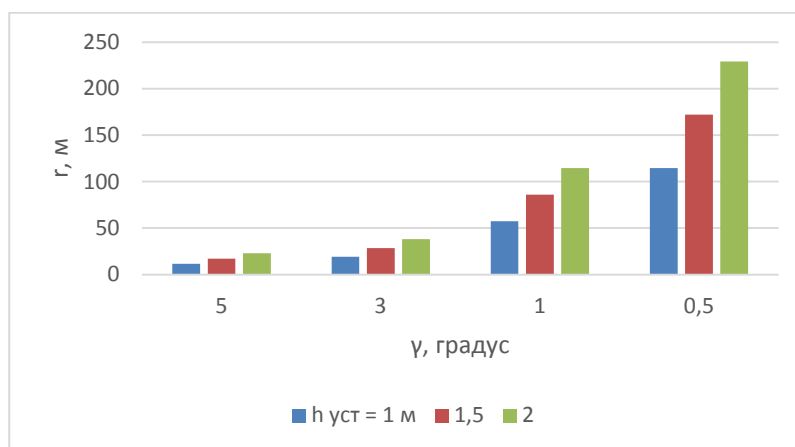


Рисунок 5. Зависимость величины зоны работоспособности дальномера от высоты его установки

При измерениях и визуализации окружающей обстановки на экране монитора следует исключить недостоверную информацию за счет совместной обработки данных дальномеров и прибора измерения крена судна. Это позволит индцировать на картине визуализации зоны с достоверным отображением окружающей обстановки.

На основании приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

1. лазерные дальномеры обеспечивают высокую точность измерения (до сантиметров) строго по лучу лазера. Это свойство является и недостатком лазерных дальномеров при использовании их для контроля окружающей обстановки.

Погрешности установки, крен, качка судна могут приводить к значительным отклонениям лазерного луча и получению недостоверных данных;

2. для повышения надежности получаемых данных при выполнении швартовых операций на судах целесообразно использовать более дорогостоящие лазерные датчики – лидары. Они обеспечивают получение 3D картины окружающей обстановки (что требует больших вычислительных ресурсов для обработки), работают независимо от внешнего освещения, имеют высокую помехозащищенность и нечувствительны к крену и качке судна.

### Список литературы:

1. Ultrasonic sensor AFEs. Режим доступа: <https://www.ti.com/sensors/specialty-sensors/ultrasonic/overview.html>
2. First Sensor. Optical sensors. Режим доступа: <https://www.first-sensor.com/en/product-search/search-by-specs/index.html>
3. Laser rangefinders for mobile and stationary systems. Режим доступа: <https://www.jenoptik.com/products/lidar-sensors-technologies/laser-rangefinders>
4. Laser docking aid system SmartDock. Режим доступа: <https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/products--solutions--and--services/marine/docking--and--mooring/docking--aid--system/smart--dock--laser>
5. Базылев А.В., Бычков В.Я., Перевезенцев, С.В., Плющаев В.И. Аппаратно-программный комплекс для автоматической швартовки судов. Научные проблемы водного транспорта, 2020, №64. - с.195-206.

## MONITORING THE POSITION OF THE VESSEL RELATIVE TO THE MOORING WALL USING LASER RANGEFINDERS

*Plyushchaev V.*

*The article substantiates the requirements for the characteristics of the laser ship subsystem for measuring distances to surrounding objects. The subsystem is designed to provide the boatmaster with real-time operational information about the mooring process – the distances to the mooring wall, the speeds of convergence of the bow and stern with the mooring wall, visualization of the position of the ship's hull relative to the mooring wall. The dependences of distance measurement errors on the design features of laser rangefinders are estimated.*

*Keywords: mooring operations, laser rangefinders, means of measuring ship movement parameters, distance measurement errors*

