

# КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ЛАГ

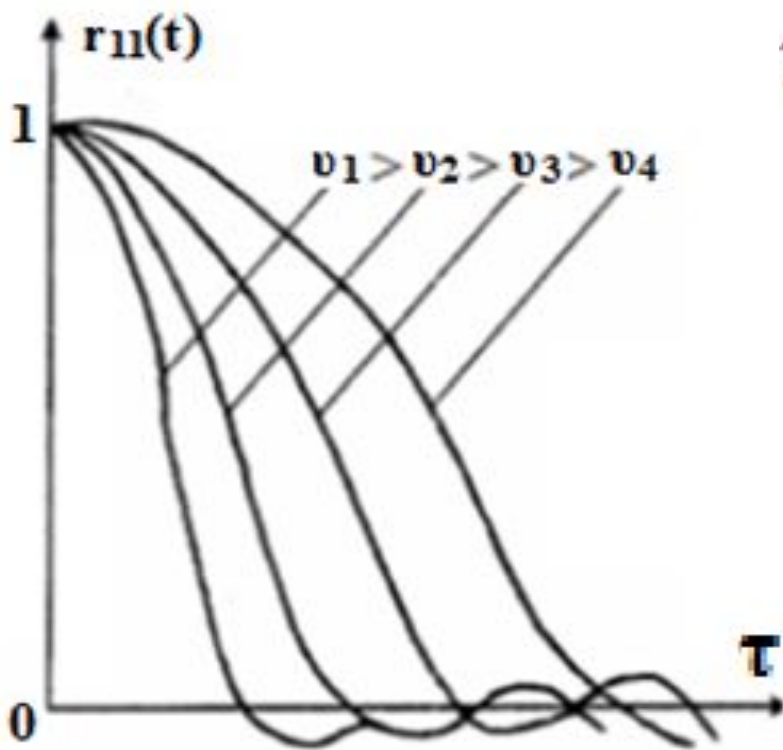
**Корреляция** – Взаимная связь явлений, находящихся в известной зависимости друг от друга.

**Корреляция** — статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми). При этом изменения одной или нескольких из этих величин приводят к систематическому изменению другой или других величин. Математической мерой корреляции двух случайных величин служит коэффициент корреляции.

*Корреляционный лаг* – это гидроакустический лаг, в котором используется связь двух эхо-сигналов, разнесенных по времени (корреляция).

## Автокорреляционный метод определения скорости

В автокорреляционных измерителях параметров движения скорость объекта определяется по информации от одного приемника, для чего используется автокорреляционная функция входного сигнала.



Графики автокорреляционной функции входного сигнала

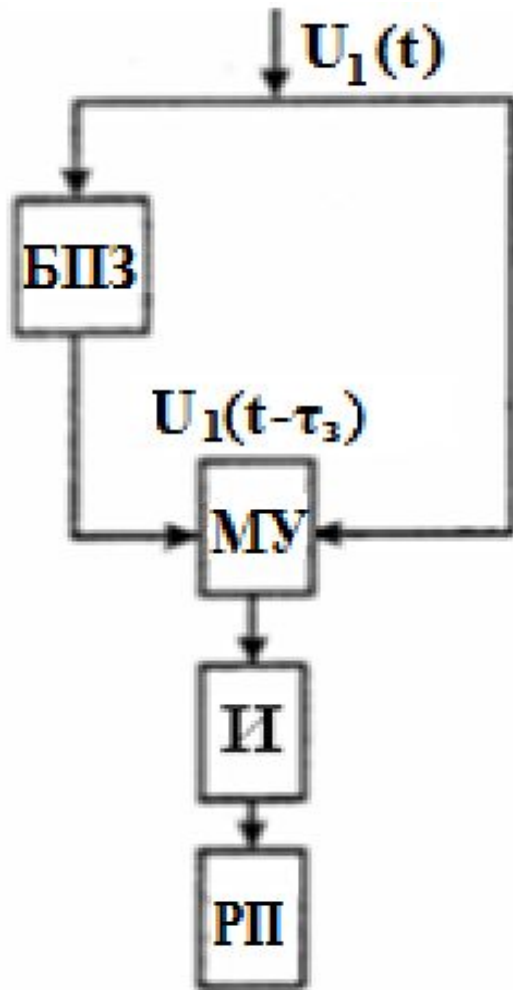
$$r_{11}(\tau) = e^{-2(k \cdot t g \delta)^2 V_c^2 \tau^2}$$

коэффициент автокорреляций  
огибающей эхо-сигналов

где  $k=2\pi/\lambda$  - волновое число ЗВ;  
 $\delta$  - средний квадратичный  
угол наклона неровностей  
дна;

$V_c$  - скорость судна;

$\tau$  - время запаздывания.



**БПЗ** - блок постоянной регулируемой задержки на величину  $\tau_3$ ;

**МУ** - множительное устройство, формирующее сигнал, пропорциональный  $r_{11}(\tau_0)$ ;

**И** - интегратор, выполняющий роль сглаживающего звена;

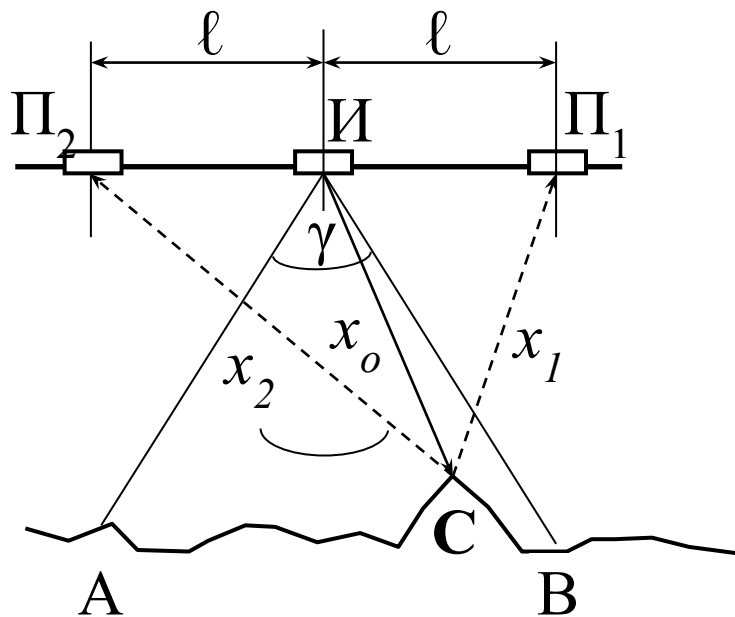
**РП** - регистрирующий прибор, шкала которого отградуирована в единицах скорости.

Устройство для вычисления коэффициент автокорреляции.

## **Взаимокорреляционный метод измерения скорости**

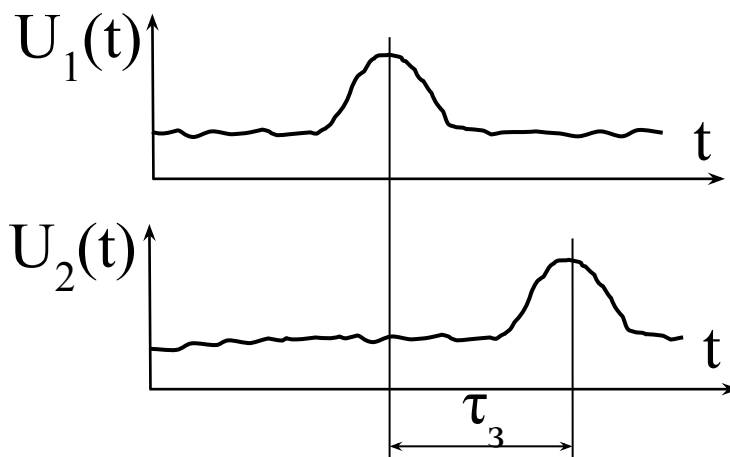
Корреляционно-экстремальная навигационная система без памяти - это корреляционные измерители скорости движения, в которых установлены в антенной системе, как минимум, два приемных элемента, разнесенных на величину базы  $S$  ( $2\ell$ ).

Принцип работы такой системы основан на измерении временного запаздывания между случайными сигналами, принятыми носовой и кормовой антеннами, установленными по линии движения судна

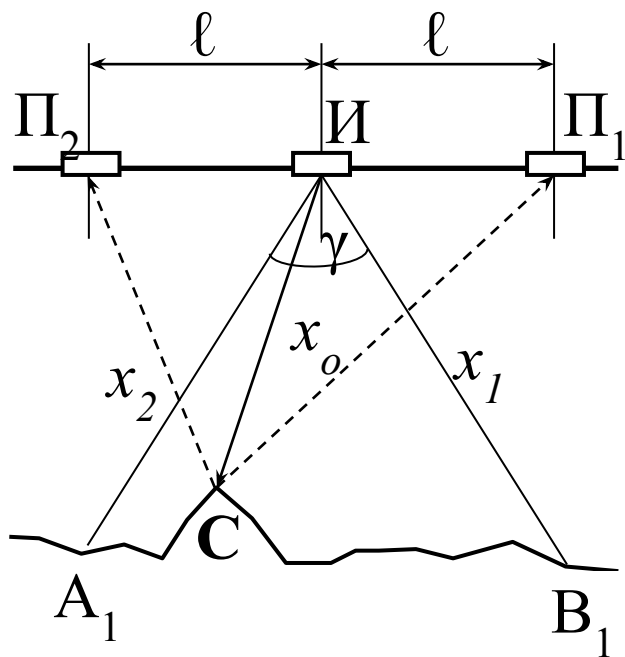


Амплитуда и фаза эхо-сигналов, принятых антеннами  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  зависят от хода лучей  $(x_0 + x_1)$  и  $(x_0 + x_2)$ .

$$P = P_0 \cos \omega(t - x/c)$$

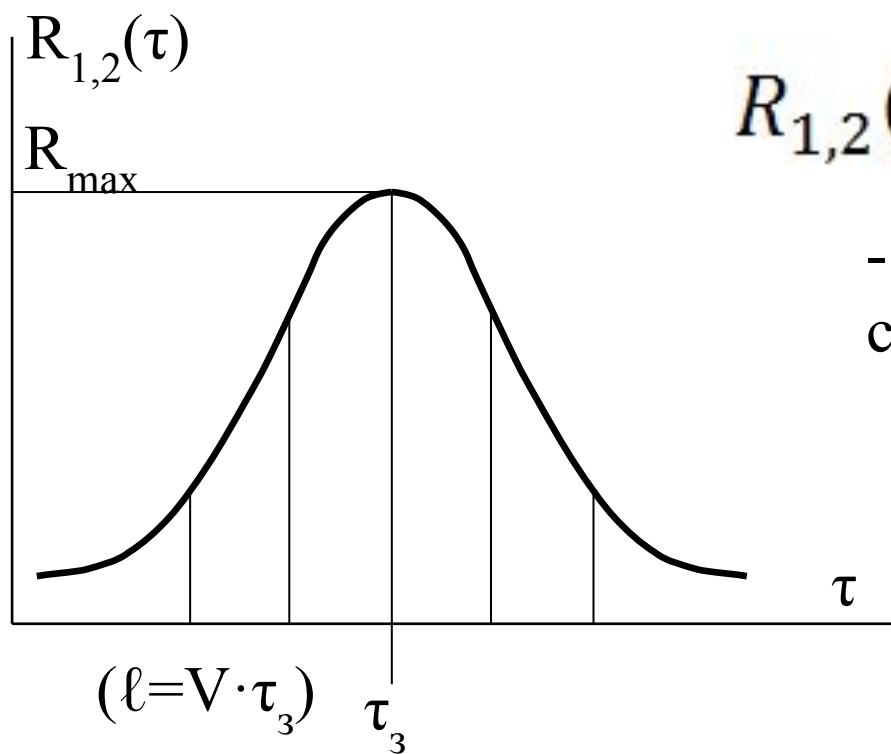


Сигналы на входах приемников  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$



Принцип действия корреляционного лага

Закон изменения эхо-сигнала во времени на выходе второй приемной антенны  $U_2(t)$  подобен закону изменения эхо-сигнала на выходе первой приемной антенны  $U_1(t)$ , но сдвинут по времени на величину временного запаздывания  $\tau_3$ .



$$R_{1,2}(\tau) = e^{\frac{-2\pi \cdot f^2 \cdot \gamma^2}{c^2} (\ell - V_c \cdot \tau_3)}$$

- корреляционная функция двух случайных эхо-сигналов

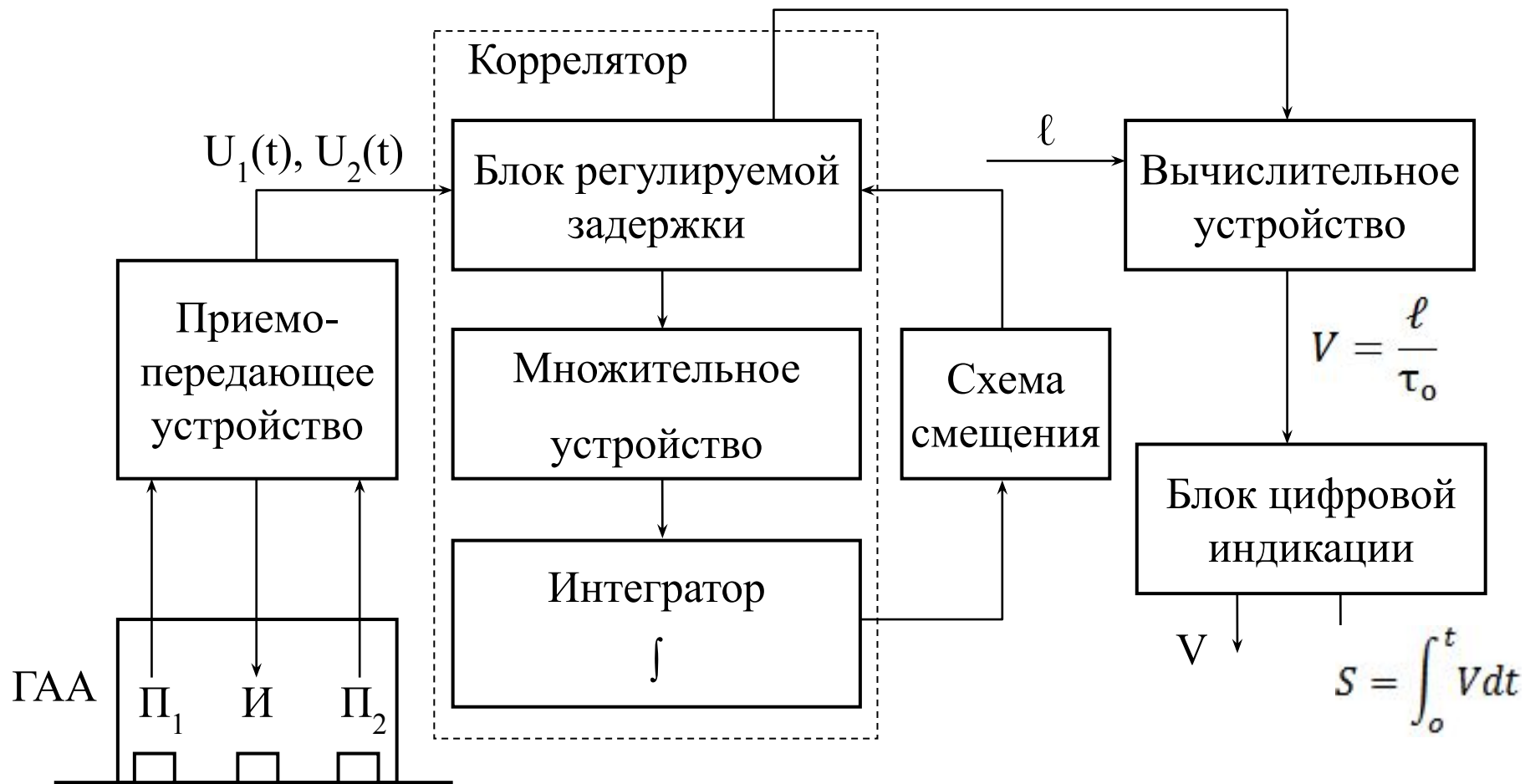
$\gamma$  – ширина ДН  $\gamma \approx 30^\circ$ ;

$\ell$  - расстояние между  $I$  и  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ;

$V_c$  – скорость судна;

$\tau_3$  – временная задержка приема эхо-сигнала между приемниками  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ .

График корреляционной функции



Блок-схема корреляционного лага

## *Погрешности корреляционного лага*

Основную группу погрешностей составляют следующие:

1. *Методические погрешности*, связанные с методом измерения скорости и определения угла сноса, с применением упрощенных формул для их определения (допущения, принятые при выводе формул).

Методические погрешности возникают вне корреляционного измерителя скорости и обусловлены физической сущностью образования эхо-сигналов и принятым способом обработки информации.

2. *Инструментальные погрешности*, возникающие при прохождении эхо-сигналов через передающий, антенный, приемный и измерительно-вычислительный тракты устройства, а также обусловленные самим излучаемым сигналом (нестабильность излучаемой частоты и т. д.).



# 1. Флюктуационная погрешность

Флюктуационная погрешность, обусловлена случайным характером входного сигнала лага, а также случайным характером влияния помехи.

$$\frac{\sigma_{V_c}}{V_c} = 0,3 \cdot \frac{\left(\frac{\lambda}{\Delta\alpha}\right)^{3/2}}{x_0 \sqrt{V_c T}}$$

где  $x_0 = \ell = S/2$ ;

$\lambda$  - длина волны;

$\Delta\alpha$  - ширина ДН;

$V_c$  - скорость судна;

$T$  - время осреднения.

При  $\Delta\alpha = 20^\circ$ ,  $f_0 = 2\text{МГц}$ ,  $x_0 = 9\text{ мм}$ ,  $\tau = 25\text{ мс}$ ,  $T = 1\text{ с}$   
 $\sigma_{V_c}/V_c = 0,07\%$ .

При скважности  $S = T/\tau_{\text{и}} = 3$  эта погрешность увеличивается в 1,7 раза и составит 0,12%. Может быть уменьшена выбором оптимального разноса антенн  $\ell$  ( $x_0$ ).

## 2. Погрешность ориентации антенной системы

При несовпадении линии базы антенной системы и ДП судна, максимум корреляционной функции наблюдается при смещении судна не на расчетное расстояние  $x_0 = S/2$ , а на величину проекции этого расстояния на диаметральную плоскость, т.е.  $x'_0$   
 $x'_0 = x_0 \cos \alpha$  где  $\alpha$  - угол несовпадения осей ориентации.

Относительная погрешность при несовпадении осей АА и ДП

$$\frac{\Delta V_c}{V_c} = -(1 - \cos \alpha) \cdot 100\%$$

При дифференте  $\psi$  судна с за счет несовпадения линии базы с горизонтальной плоскостью относительная погрешность:

$$\frac{\Delta V_c}{V_c} = -(1 - \cos \psi) \cdot 100\%$$

При движении судна со сносом  $\beta$  показания будут завышены и относительная погрешность составит:

$$\frac{\Delta V_c}{V_c} = -(1 - \cos \beta) \cdot 100\%$$

При движении судна со сносом  $\beta$ , имея дифферент  $\psi$ , относительная погрешность составит:

$$\frac{\Delta V_c}{V_c} = -(1 - \cos\beta \cdot \cos\psi) \cdot 100\%$$

На точность показаний лага будут влиять и такие факторы, как:

- изменение скорости судна;
- рыскание;
- циркуляция судна;
- качка и т.д.

за счет изменения конструктивного значения базы, отличающейся под действием этих факторов от своего реального значения

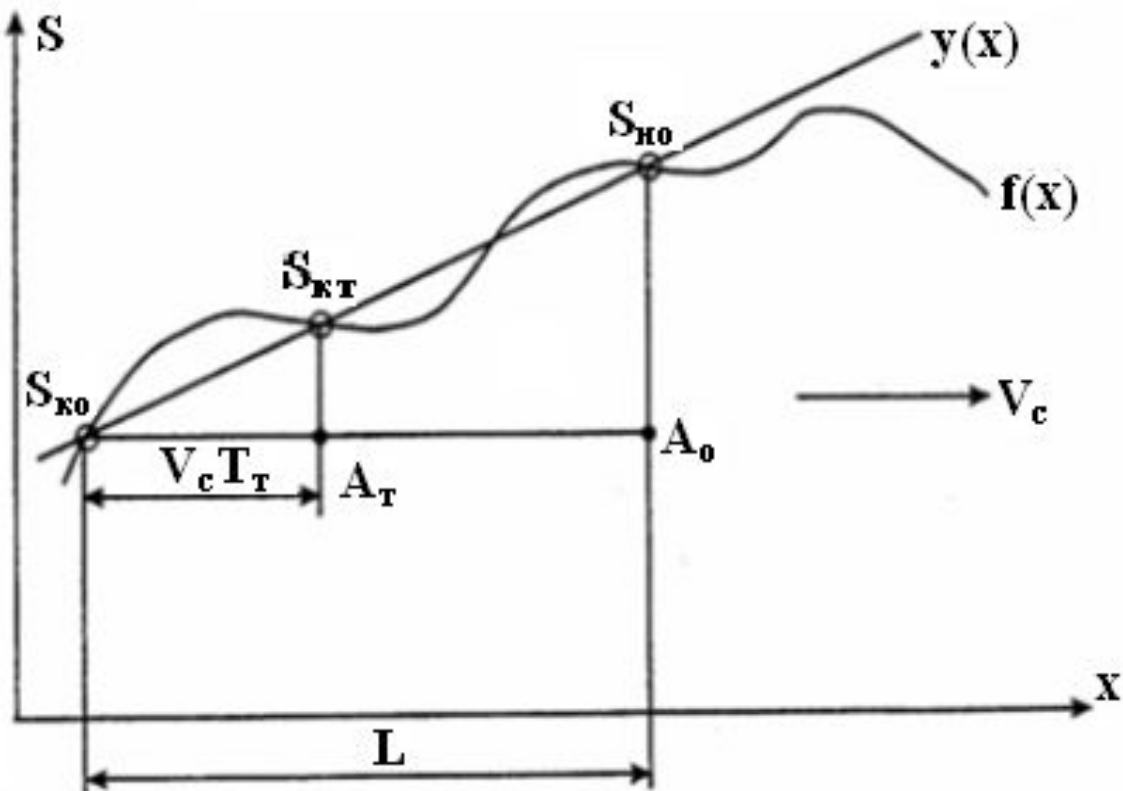
*Инструментальные погрешности обусловлены:*

1. Неидентичностью амплитудных и фазовых характеристик каналов приемного тракта лага, в результате чего происходит смещение максимума корреляционной функции;
2. Нестабильностью частоты излучаемых колебаний;
3. Погрешностью самого коррелятора, осуществляющего автоматическое слежение за максимумом корреляционной функций.

Точность измерения пройденного судном расстояния, как правило, выше, чем точность измерения скорости.

## Интерполяционный гидроакустический лаг

Корреляционные методы обработки эхо-сигналов обладают существенным недостатком - невозможностью определения скорости судна, стремящейся к нулю или равной нулю, так как измеряемая при этом временная задержка будет стремиться к бесконечности.



$$T_T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$$

Из подобия  
треугольников

$S_{HO}$   $S_{KO}$   $A_O$  и  $S_{KT}$   $S_{KO}$   $A_T$ :

$$\frac{S_{HO} - S_{KO}}{L} = \frac{S_{KT} - S_{KO}}{V_c \cdot T_T}$$

откуда:

$$V_c = \frac{L}{T_T} \cdot \frac{S_{KT} - S_{KO}}{S_{HO} - S_{KO}}$$

При аппаратной реализации на скоростях, отличных от нуля, следящая система может реализовать условие измерения времени  $T_T$ , когда  $S_{KT} = S_{KO}$ :  $V_c = L/T_T$ .

Такой режим измерения применим для скоростей судна, отличающихся от нуля, т.к. этот режим аналогичен корреляционному с присущими ему недостатками.





Гидроакустическая антенна  
корреляционного лага  
SAL



Гидроакустическая антенна  
Корреляционного лага  
SAL-860 ("Speed Log")

## Геоэлектромагнитный лаг

Геоэлектромагнитный измеритель скорости по принципу работы основан на использовании явления электромагнитной индукции.

Магнитное поле, в геоэлектромагнитном лаге индуцирование ЭДС происходит вследствие пересечения измерительным контуром силовых линий магнитного поля Земли.

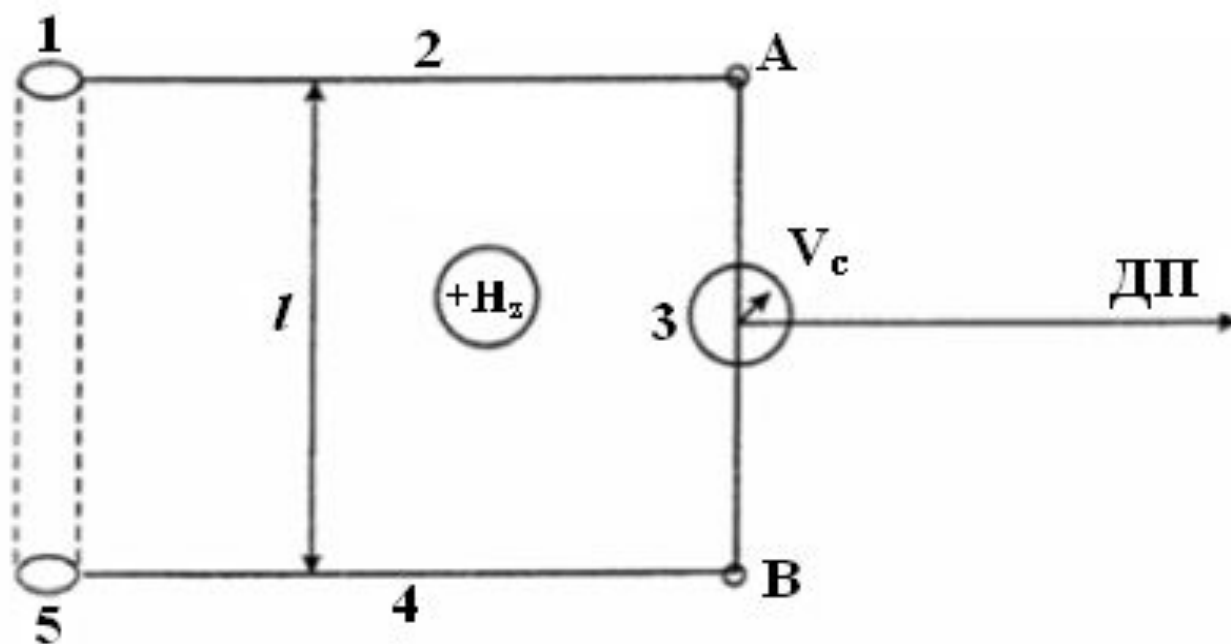
Измеряемая при этом скорость судна будет соответствовать скорости судна относительно Земли.

На судне перпендикулярно ДП судна, установлен измерительный проводник  $AB = \ell$ , с помощью которого измеряют ЭДС, возникающую при его движении относительно вертикальной составляющей магнитного поля Земли ( $H_z$ ).

В этом случае скорость движения судна может быть определена из следующей зависимости:

$$V_c = \frac{E}{H_z \cdot \ell}$$





### Принцип действия геоэлектромагнитного лага

Величина  $H_z$  (напряженность магнитного поля Земли) может быть получена с помощью соответствующих карт и пособий или с помощью специального устройства-магнитометра.

Неподвижным участком измерительного контура относительно м/п Земли является морская вода и грунт (дно).

Контакт проводника АВ с водой обеспечивается с помощью электродов 1 и 5, удаленных от судна на длину буксируемых кабелей 2 и 4.

Электроды 1 и 5 удаляются от корпуса судна с целью уменьшения влияния помех, обусловленных электрическими и магнитными полями судна.

Измерительный прибор 3 покажет величину ЭДС, возникающую в проводнике АВ, которая пропорциональна абсолютной скорости судна. При этом измеряется только продольная составляющая вектора скорости судна.

Если судно движется со сносом под некоторым углом  $\beta$ , то измеряемая информация определяется из выражения:

$$E = V_c H_z L \cos \beta \quad \text{откуда:} \quad v_x = V_c \cos \beta = \frac{E}{H_z L}$$

Для определения поперечной составляющей вектора скорости судна дополнительно устанавливаются еще два электрода с разной длиной буксируемых кабелей. В этом случае:

$$v_y = \frac{E_1}{H_z L_1} \quad \text{---} \rightarrow \quad V_c = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \text{---} \rightarrow \quad \text{tg} \beta = \frac{v_y}{v_x}$$

# **Международные требования к оборудованию морских судов**

Глава V SOLAS – 74 посвящена правилам оснащения судов навигационной аппаратурой и содержит рекомендации по правилам эксплуатации этого оборудования.

Правила 18, 19 и 20 главы V содержит материал, согласно которому каждое государство обязано оснащать суда навигационным оборудованием и контролировать качество его эксплуатации и сроки его использования.

Навигационный эхолот устанавливается на пассажирских судах любого водоизмещения и на грузовых судах при валовой вместимости более 300 р.т.

Относительный лаг устанавливается на пассажирских судах любого водоизмещения и на грузовых судах при валовой вместимости более 300 р.т.

Абсолютный лаг обязателен для установки на всех судах валовой вместимостью более 50000 р.т.

Эксплуатационные требования к навигационной аппаратуре определяется резолюциями ИМО.

Если резолюция одобрена ассамблеей ИМО, то 1 буква в обозначении документа **A**.

Если документ принят Комитетом по безопасности на море, то она обозначается **MSC**.

Эхолоты должны удовлетворять резолюции A.224(7) 1975 года и MSC.74(69) приложение IV 1998 года.

*Примечание 1.* Эхолоты, установленные 1 января 2000 г. и после, должны соответствовать требованиям Приложения IV MSC.74 (69).

Согласно А.224 (7) эхолот должен измерять глубины под излучателем от 2 м до 400 м. Эхолот должен работать в двух диапазонах: обзорном (глубоководном) и рабочем, составляющем 1/10 от обзорного.

Точность измерения глубин:

$\pm 1$ м в диапазоне малых глубин;	}	или 5% от измеренной	$\pm$
5 м в глубоководном диапазоне			

*Примечание 2.* Согласно MSC.74(69) эхолот должен обеспечивать измерение глубин в диапазоне  $0 \pm 200$  м.

Минимальная измеряемая глубина 2 м.

Диапазонов два:  $0 \pm 20$  м,  $0 \pm 200$  м.

Главный метод представления измеренных глубин – графический.

Представляемая запись должна быть сохранена в течение 12 ч.

$\pm 0,5$ м в диапазоне до 20 м;	}	или 2,5% от измеренной	$\pm$
$\pm 5$ м в диапазоне до 200 м;			

*Примечание 3.* Эхолот должен быть оснащен аварийно-предупредительной сигнализацией, которая срабатывает когда глубина воды под килем менее заданной величины.

Лаги должны соответствовать требованиям резолюций А.478(12) 1981 г. и А.824(19) 1995 г.

Лаги, установленные после 01.01.1997г. должны соответствовать последней резолюции.

Согласно А.478(12) 1981 г. лаг предназначен для выработки информации о пройденном расстоянии и скорости переднего хода относительно воды или грунта.

Лег должен надёжно функционировать на всех скоростях судна и на глубинах  $> 3$  м под килем.

Погрешность индицированной скорости не должна превышать 5% или 0,5 узла смотря на то, что больше.

Согласно А.824(19) лаг может представлять информацию о перемещении судна помимо движения вперед по продольной оси.

Информация о скорости представляется в аналоговой или цифровой форме. Точность измерения скорости: 2% от  $V_c$  или 0,2 уз смотря, что больше.