

# Виды лагов

**Лаг** - судовое навигационное устройство, предназначенное для измерения скорости и выработки пройденного расстояния.

**Абсолютный лаг** - лаг, производящий измерение скорости относительно дна.

**Относительный лаг** - лаг, производящий измерение скорости относительно воды.

**Трехмерный лаг** - лаг, предназначенный для измерения скорости судна в трехмерном пространстве.

**Вертушечный лаг (ВЛ)** - лаг, определяющий скорость судна в зависимости от частоты вращения вертушки в воде.

**Гидродинамический лаг (ГДЛ)** - лаг, определяющий скорость судна в зависимости от динамического давления воды, обтекающей судно при его движении.





**Индукционный лаг (ЛИ)** - лаг, определяющий скорость судна в зависимости от электродвижущей силы, индуцируемой потоком воды, обтекающем преобразователь под днищем судна при его движении.

**Доплеровский лаг (ДЛ)** - лаг, основанный на использовании эффекта Доплера.

**Геомагнитный лаг** - лаг, основанный на использовании свойств магнитного поля Земли.

**Корреляционный лаг (КЛ)** - лаг, определяющий скорость судна путем анализа корреляционной связи между двумя сигналами, принятыми на движущемся судне на разнесенные в направлении движения первичные преобразователи скорости.

**Геоэлектромагнитный лаг** - геомагнитный лаг, основанный на использовании явления наведения электродвижущей силы в проводнике при его движении в магнитном поле Земли.

**Гидроакустический лаг (ГАЛ)** - лаг, основанный на использовании законов распространения акустических волн в воде.

**Радиолаг (РЛ)** - лаг, основанный на использовании законов распространения радиоволн.

**Доплеровский гидроакустический лаг (ДГАЛ)** – гидроакустический лаг, основанный на использовании эффекта Доплера.

**Доплеровский радиолаг (ДРЛ)** - радиолаг, основанный на использовании эффекта Доплера.

**Швартовый лаг (ШЛ)** - лаг, предназначенный для измерения скорости движения носа и кормы судна при его швартовке.

1. В зависимости от выбранной опорной системы координат, относительно которой происходит измерение скорости:

- абсолютные лаги;
- относительные лаги.

2. В зависимости от числа измеряемых составляющих скорости:

- однокомпонентные, служащие для измерения составляющей скорости в диаметральной плоскости судна  $v_x$  ( $v_{дп}$ );
- двухкомпонентные, служащие для измерения составляющей скорости в диаметральной плоскости судна ( $v_x$ ) и составляющей скорости в плоскости, перпендикулярной диаметральной плоскости судна ( $v_y$ ).

### 3. В зависимости от точности измерения скорости:

- высокой точности для обеспечения швартовки судна и выполнения специальных работ на научно-исследовательских судах;
- точные для обеспечения плавания в узкостях, каналах, акватории порта и прибрежных районах;
- средней точности для обеспечения плавания в открытом море и океанском плавании;
- низкой точности для обеспечения плавания маломерных судов, катеров, яхт и т.д.

Тип лага		Измеряемая скорость	Разрешающая способность, узлы, относительная погрешность, %
Точность выработки скорости Тип лага	Измеряемая скорость		
Высокой точности	ДГАЛ (в системе швартовки)	Вектор скорости перемещения отдельных частей судна (носа, кормы) относительно грунта	<u>0,01-0,02</u> 0,5-1,0
Точный	ДГАЛ КГАЛ с интерполяционным блоком обработки	Вектор скорости относительно грунта. Скорость судна относительно грунта и воды	<u>0,05-0,10</u> 1,0-2,0
Средней точности	Индукционный лаг Гидродинамический лаг Радиодоплеровский	Вектор скорости судна (или продольная составляющая) относительно воды Вектор скорости судна относительно поверхности воды	<u>0,15-0,30</u> 1,0-5,0
Низкой точности	Вертушечный	Продольная составляющая скорости судна относительно воды	<u>Более 0,30</u> Более 3,0

# Измерители скорости

- Индукционные лаги;
- Доплеровские лаги;
- Корреляционные лаги.

# Индукционные лаги

## **Закон электромагнитной индукции:**

электродвижущая сила, индуцируемая в проводнике (контуре), равна изменению магнитного потока, пронизывающего контур (Открыт Фарадеем в 1831 г.):

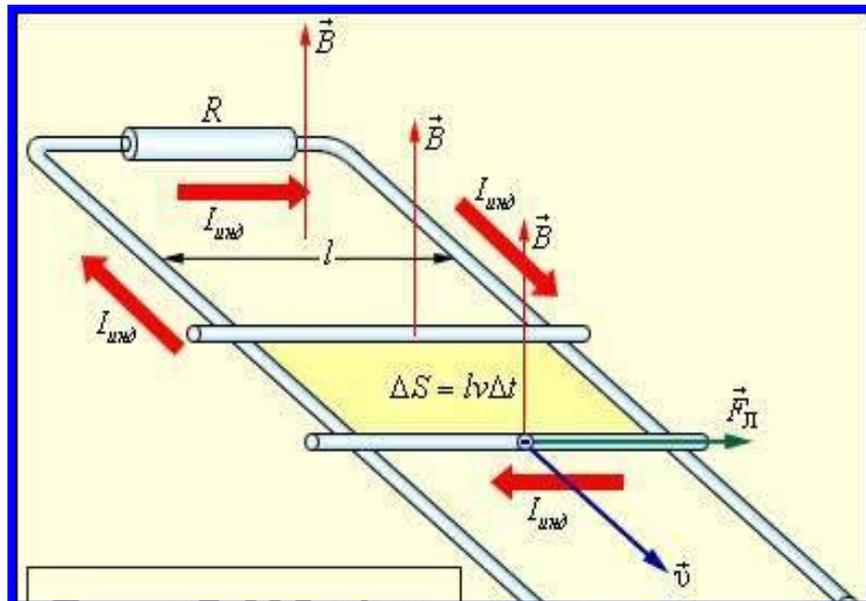
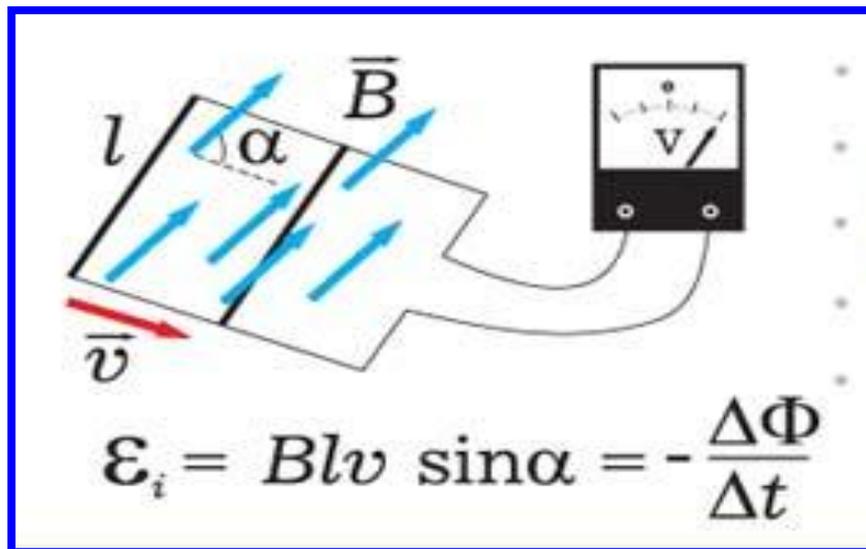
$$|E| = - \frac{d\Phi}{dt}$$

где  $E$  - э.д.с. (разность потенциалов между двумя точками в токопроводящем контуре), [В]

$\Phi$  - магнитный поток, равный произведению магнитной индукции  $B$  [Тл] на площадь  $S$  [м<sup>2</sup>], перпендикулярную силовым линиям магнитного потока [Вб];

$t$  - время, [с]

# ЭДС индукции в движущихся проводниках

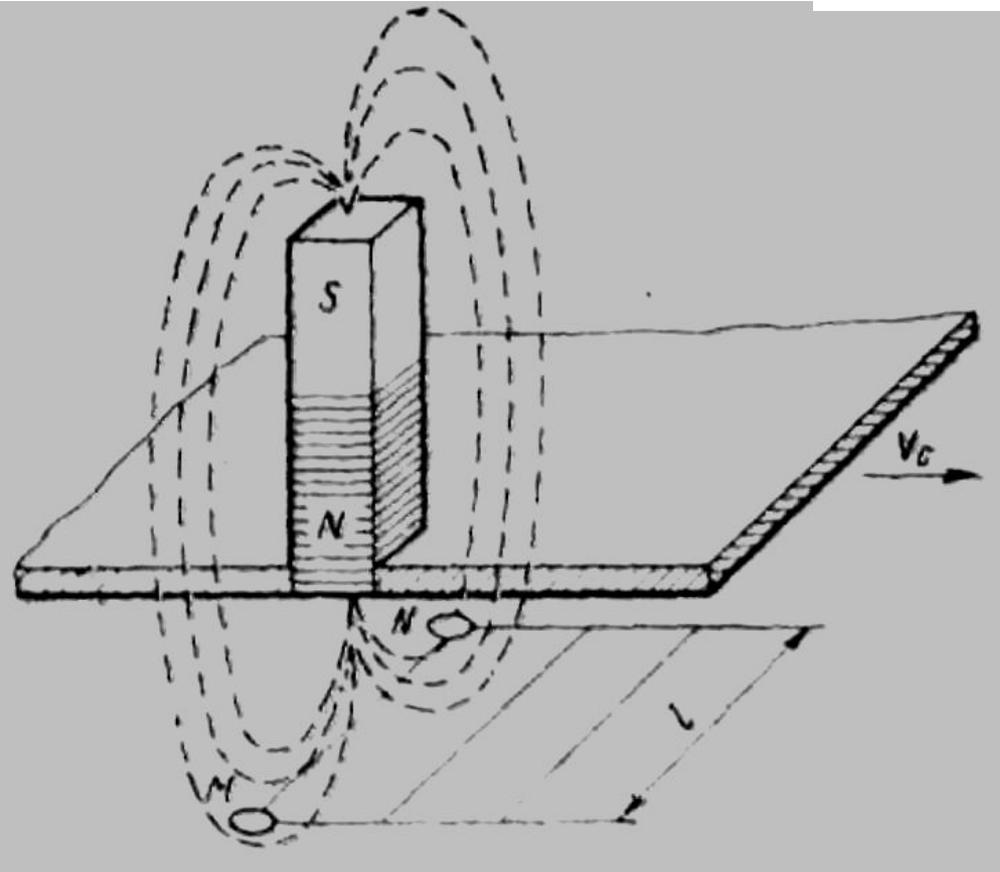


При движении проводника в магнитном поле со скоростью  $V$ , вместе с ним, с той же скоростью, движутся «+» и «-» заряды, находящиеся в проводнике.

На них в магнитном поле, в противоположные стороны действует сила Лоренца, что приводит к перераспределению зарядов - возникает ЭДС.

Э.д.с. равна скорости изменения магнитного потока  $\Phi$  через поверхность, ограниченную этим контуром.

В общем случае имеем: 
$$E = -\frac{d(BS)}{dt} = -\left(S\frac{dB}{dt} + B\frac{dS}{dt}\right)$$



Значение э. д. с, наводимой в проводнике  $MN$ :

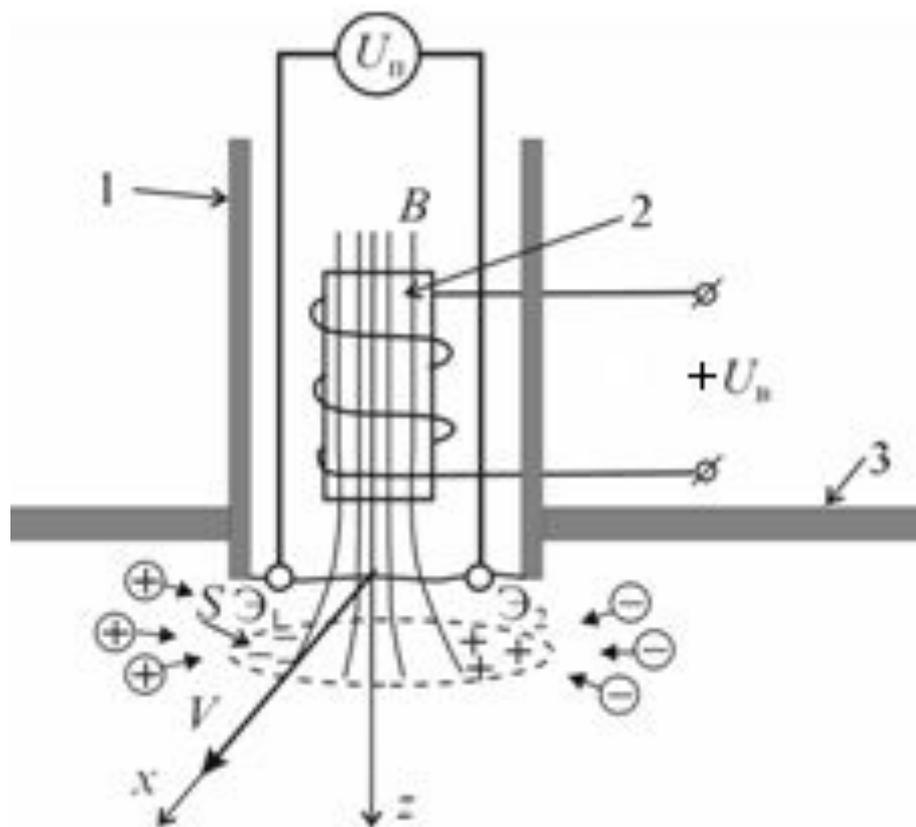
$$E = -B\frac{dS}{dt}$$

$$dS = lV_c dt$$

$$E = -BlV_c \Rightarrow V_c = -\frac{E}{Bl} = KE$$

Движение проводника в постоянном магнитном поле

При движении судна относительно воды скорость его перемещения прямо пропорциональна измеренной э. д. с, а значит, рассмотренное устройство может служить в качестве датчика лага.



Однако, во-первых, под действием силы Лоренца ионы одного знака оказываются на площади  $S$  в непосредственной близости друг от друга, т.е. их плотность очень быстро становится предельной.

Дальнейшее увеличение скорости не приводит к повышению плотности электрического заряда и к увеличению э.д.с.  $E$ .

Во-вторых, возникшие при движении судна положительно и отрицательно заряженные зоны участка  $S$  притягивают из окружающей воды ионы противоположного знака. Постоянно происходит компенсация ЭДС, что вносит помеху в измерения.

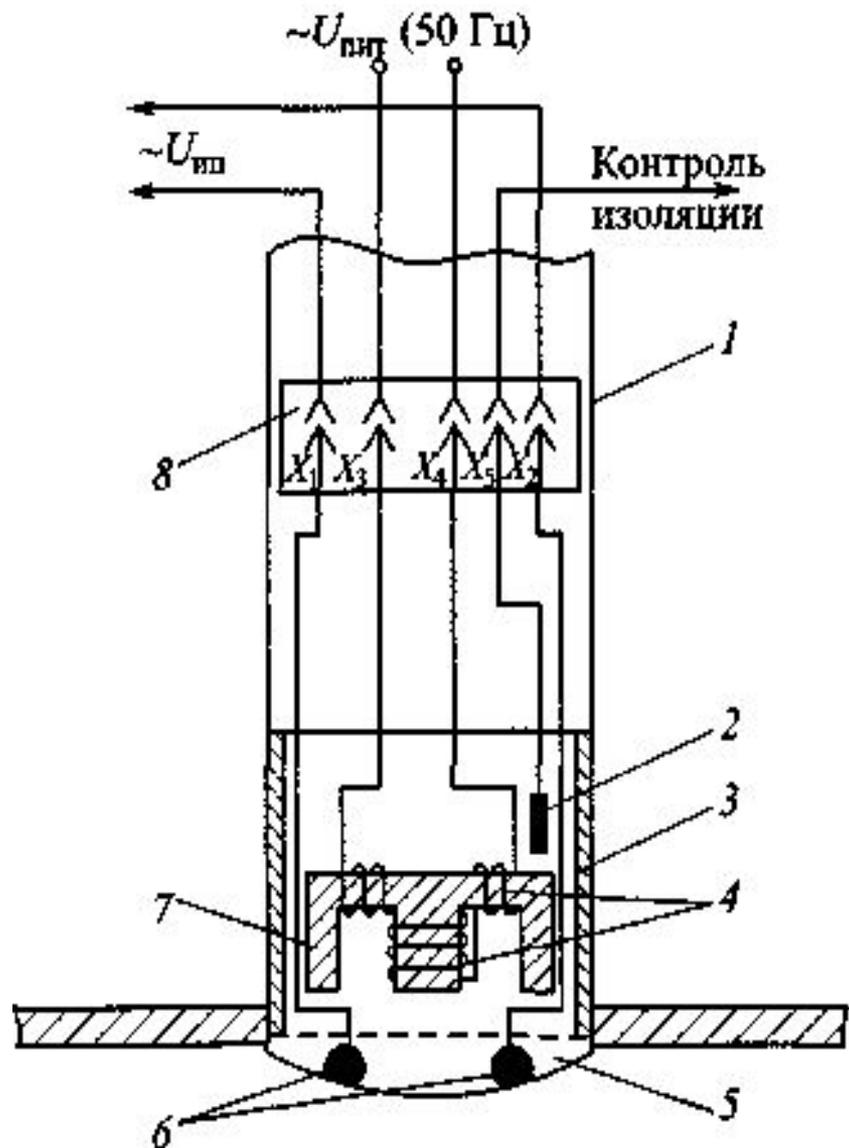
В третьих, накопление электрических зарядов на электродах резко увеличивает переходное сопротивление контакта "вода - электрод", что также ухудшает работу лага.

*Возникает явление поляризации участка проводника.*

Поляризация участка проводника делает невозможным измерение скорости судна, если в ЧЭ используется постоянный магнит

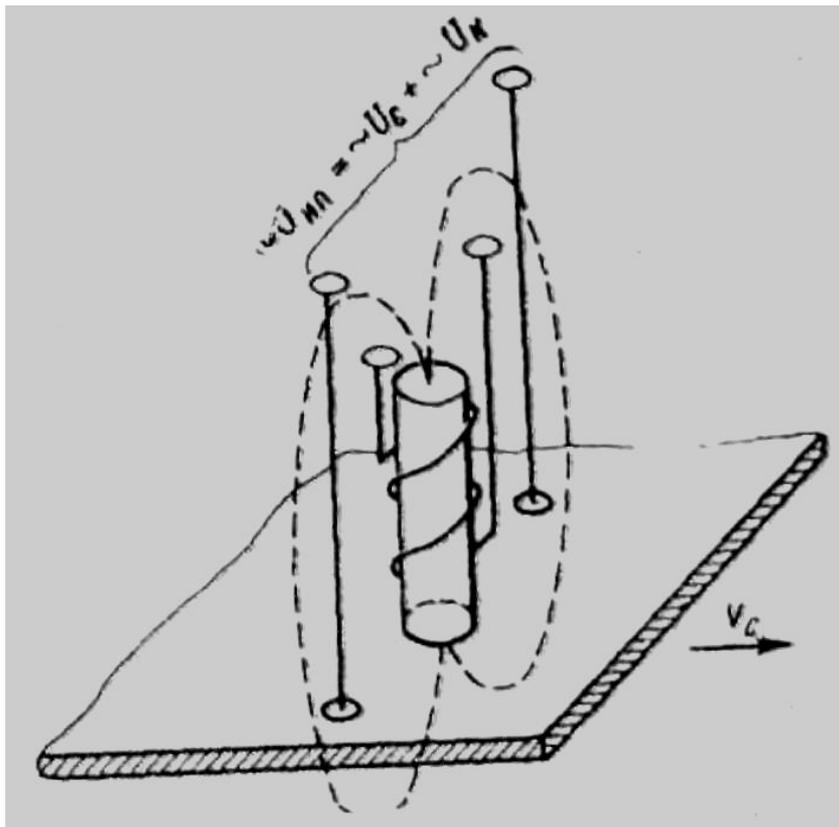
Вследствие возникновения явления поляризации постоянное магнитное поле в индукционных лагах не применяется, так как накопление электрических зарядов на электродах настолько искажает э. д. с., что выделить полезную составляющую, пропорциональную скорости судна, практически невозможно.

Для устранения э. д. с. поляризации в индукционных лагах используют датчик с электромагнитом, обмотка которого питается переменным током.



- 1 - стойка прибора;
- 2 – электрод для замера сопротивления изоляции ИП;
- 3 - внутренняя полость корпуса ИП;
- 4 – обмотки переменного электромагнита;
- 5 – латунная поверхность нижней части ИП;
- 6 - токосъемные электроды;
- 7 – ферромагнитный трёхстержневой сердечник;
- 8 - штепсельный разъем.

Индукционный преобразователь с переменным электромагнитом



### Образование квадратурной помехи

В проводниках, находящихся под действием переменного магнитного потока наводится ЭДС.

Морские воды представляют собой проводник гигантских размеров. В воде, вокруг магнитного потока, также образуется контур, в котором возникает ЭДС.

Данная ЭДС является квадратурной помехой  $E_k$ , и не содержит информации о скорости судна.

Суммарный сигнал, поступающий с индукционного датчика лага, содержит, кроме полезного сигнала, и квадратурную помеху, превосходящую притом его значение.

Так как электромагнит запитывается напряжением  $U_{\text{пит}}$  частотой 50 Гц, то:

$$B = B_{\text{max}} \sin \omega t$$

измеряемая э. д. с.

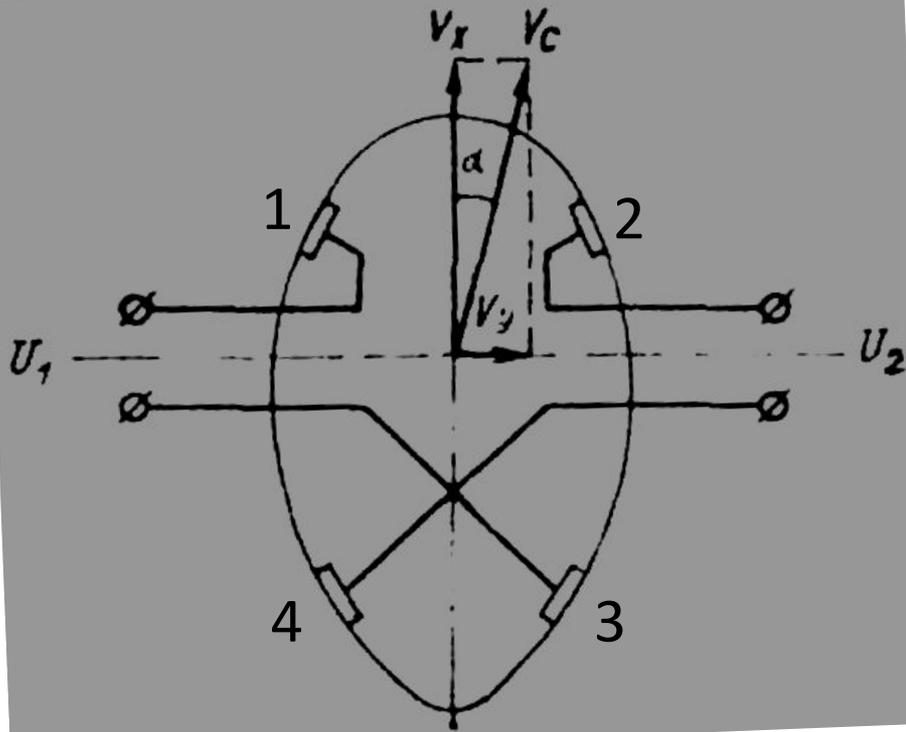
$$E = - \underbrace{B_{\text{max}} \ell V_c}_{K_1} \sin \omega t - \underbrace{B_{\text{max}} S}_{K_2} \cos \omega t$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$E = \underbrace{K_1 V_c}_{\sim U_c} \sin \omega t + \underbrace{K_2}_{\sim U_{\text{КП}}} \cos \omega t$$

$$\sim U_c = K V_c \quad K = - B_{\text{max}} \ell \sin \omega t$$

где  $K$  — коэффициент лага



Для измерения продольной  $V_x$  и поперечной  $V_y$  составляющих (ветровой дрейф  $\alpha$ ) судна ИП снабжают двумя парами измерительных электродов.

Чувствительный элемент лага с четырьмя электродами

Если дрейфа судна нет т.е  $\alpha=0$   $U_{13} = U_{24}$  и пропорциональны  $V_c$

При дрейфе судна:  $U_{13} = K_1 V_x + K_2 V_y$ ;  $U_{24} = K_1 V_x - K_2 V_y$

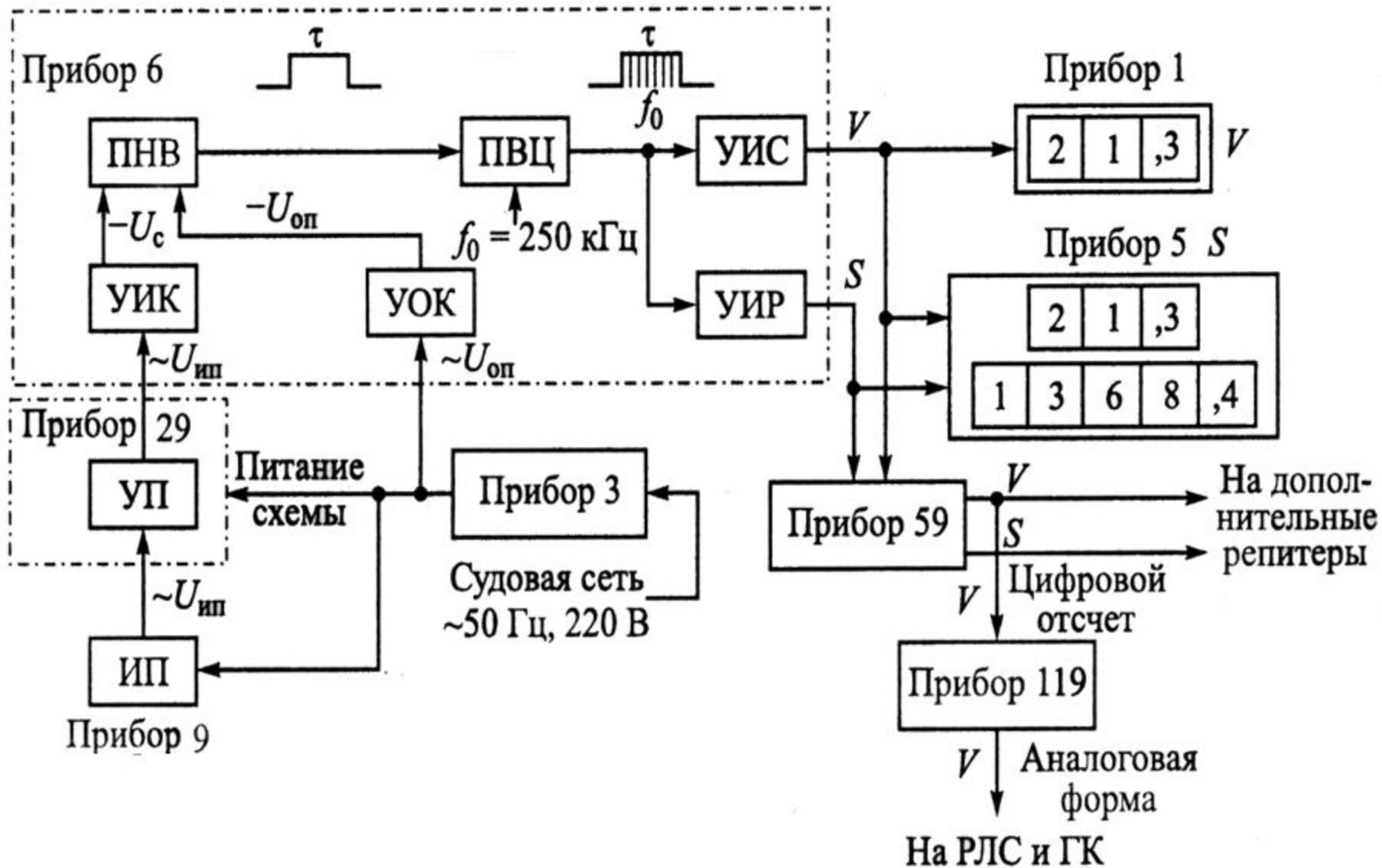
$$U_{13} + U_{24} = 2K_1 V_x; \quad U_{13} - U_{24} = 2K_2 V_y$$

$$V_x = \frac{U_{13} + U_{24}}{2K_1} \quad V_y = \frac{U_{13} - U_{24}}{2K_2}$$

$$V_c = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_c = \sqrt{\left(\frac{U_{13} + U_{24}}{2K_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{13} - U_{24}}{2K_2}\right)^2}$$

$$\alpha = \arctg \left( \frac{K_1(U_{13} - U_{24})}{K_2(U_{13} + U_{24})} \right)$$



Структурная схема индукционного лага

## **Погрешности измерения скорости индукционным лагом**

1. Погрешности измерительной схемы;
2. Погрешности чувствительного элемента;
3. Погрешности, обусловленные влиянием внешней среды.

**Погрешности измерительной схемы** незначительны и обусловлены, в основном, изменением характеристик электроэлементов и наводками паразитных напряжений в отдельных цепях схемы.

Устраняются путем установки «электрического» нуля.

### **Погрешности чувствительного элемента.**

Источники:

- собственная ЭДС электродов;
- токи утечки;
- токи наводок в контуре приемного устройства.

*Собственная ЭДС* электродов связана с явлениями электролиза. На опущенных в морскую воду электродах происходят окислительно-восстановительные реакции, которые сопровождаются эл. токами и создают погрешность  $\Delta V_c$ .

Для уменьшения этой ЭДС подбирают пары электродов с идентичными характеристиками и изготавливают их из малоактивных, т.е благородных металлов.

*Токи утечки* возникают из-за недостаточного качества изоляции измерительной цепи приемного устройства и наличия емкостной связи этой цепи с обмотками электромагнита.

*Наводки токов индукции* от посторонних полей в воде и в контуре, образованном цепью "вода - провода токосъемных электродов", приводят к появлению дополнительной ЭДС в измерительной схеме чувствительного элемента.

Устранение этих наводок достигается экранировкой отводящих от электродов проводов и их сплетением в жгут, а также заземлением всех приборов лага.

## **Погрешности, обусловленные влиянием внешней среды**

Погрешности вызваны:

1. Изменением солености морской воды;
2. Местом установки приемного устройства лага;
3. Статическим креном и дифферентом,
4. Качкой судна;
5. Волновым движением воды и ее температурой.

1. Погрешность из-за изменения **СОЛЕННОСТИ ВОДЫ** влияет слабо.

2. Погрешность, обусловленная местом установки приемного устройства лага, возникает из-за наличия пограничного слоя, турбулентных вихрей, который частично увлекается корпусом судна при его движении.

Зависит от турбулентности, электропроводности воды и градиента скорости потока, обрастания корпуса судна.

Погрешность носит систематический характер, определяется и устраняется на мерной линии (или с помощью GPS).

3. Статический крен и дифферент (особенно) вызывают значительную погрешность в показаниях лага. В результате крена или дифферента вектор магнитной индукции отклонен от вертикали на соответствующий угол  $\theta$ , поэтому значение скорости, показанное лагом, уменьшается также пропорционально  $\cos\theta$ .

Погрешность имеет систематический характер и полностью исключается из показаний прибора, если судно удифферентовано.

4. Погрешности от волнения моря и качки носят как систематический, так и случайный характер.

В условиях волнения и качки увеличивается турбулентность воды, что приводит к возрастанию пограничного слоя. В этом случае лаг показывает скорость всегда меньше действительной скорости, приобретает постоянную отрицательную погрешность, которая исчезает с улучшением погоды.

Резкие колебания скорости воды вблизи индукционного преобразователя, вызванные волнением, качкой, приводят к возникновению случайных погрешностей. Их влияние снижается увеличением времени осреднения скорости, для чего применяют фильтры с большой постоянной времени.