

А.И. Саранчин, В.Ф. Полковников, В.В. Завьялов

Индукционный электронный лаг ИЭЛ-2М

Учебное пособие

Владивосток
2003

УДК 629.5.058.45

Саранчин А.И., В.Ф. Полковников, В.В. Завьялов Индукционный электронный лаг ИЭЛ-2М: Учеб. пособие. – Владивосток: 2003. – 40 с.

Впервые в специальной литературе для судоводителей дана физическая интерпретация теории индукционного лага, рассмотрены физические механизмы возникновения пропорционального сигнала, квадратурной и других помех. Приводится описание функциональной схемы, правил эксплуатации лага и его калибровки на мерной линии. Рисунки в главах 2-5 выполнены по учебнику Воронова В.В. и др. "Технические средства судовождения. Конструкция и эксплуатация".

Предназначено для студентов и курсантов судоводительских факультетов морских вузов.

Ил. 19, табл. 3, библиогр. 12 назв.

Рецензенты:

начальник кафедры технических средств кораблевождения
ТОВМИ им. С.О. Макарова
профессор Сидорко С.П.

доцент кафедры судовождения
ДВГМА им. адм. Г.И. Невельского
Спасский С.С.

© Саранчин А.И., В.Ф. Полковников, В.В. Завьялов

Оглавление

1. Принцип работы индукционного лага	5
1.1. Измерение скорости индукционным методом	5
1.2. Квадратурная помеха	8
1.3. Погрешности измерения скорости индукционным лагом	12
2. Состав комплекта, технические характеристики, устройство приборов	14
2.1. Назначение, комплектация, технические характеристики	14
2.2. Конструкция приборов лага	15
3. Блок-схема и функциональная схема лага ИЭЛ-2М	17
3.1. Блок-схема	17
3.2. Функциональная схема	19
4. Обслуживание и навигационное использование лага ИЭЛ-2М	26
4.1. Подготовка к работе и включение лага	26
4.2. Проверка и регулировка лага перед выходом в море	27
4.3. Обслуживание лага ИЭЛ-2М в море	29
Equation Section (Next) 5. Регулировка лага на мерной линии	31
5.1. Характер систематических погрешностей лага ИЭЛ-2М	31
5.2. Методика регулировки лага ИЭЛ-2М на мерной линии	34
Список литературы	42

ВВЕДЕНИЕ

Измеритель скорости – лаг является важнейшим техническим средством навигации, которым оборудуется морское судно. Несмотря на бурное развитие высокоточных навигационных приборов и систем, в особенности спутниковых, необходимость в измерителях скорости не исчезла, что закреплено многими руководящими документами.

Российский Морской Регистр Судоходства с учетом рекомендаций Международной Морской Организации (ИМО) предъявляет определенные требования к судовым измерителям скорости.

В качестве обязательных параметров лаг должен измерять продольную составляющую скорости перемещения судна на переднем ходу относительно воды или грунта, а также пройденное расстояние в этом направлении.

Лаг должен нормально функционировать на всех скоростях переднего хода судна, вплоть до максимальной, и глубинах под килем более 3 м.

Погрешность измерения скорости лагом (при условии, что судно свободно от влияния эффектов мелководья, ветра, течения, а также прилива и отлива) не должна превышать $\pm 0,2$ уз при скорости судна до 10 уз и $\pm 2\%$ при скорости свыше 10 уз.

Конструкция приборов лага должна быть такой, чтобы ни способ их крепления к корпусу судна, ни профилактический осмотр и замена на плаву, ни повреждение любой части донно-заборного оборудования не могли привести к нарушению общей прочности корпуса судна и попаданию воды внутрь его.

Информация о скорости может представляться лагом в аналоговой (на шкалах) или цифровой формах, либо одновременно в двух видах. При использовании цифрового индикатора шаг показаний не должен превышать 0,1 уз при частоте обновления данных 1 раз в секунду. Аналоговый дисплей должен быть отградуирован по крайней мере через каждые 0,5 уз с укрупненной оцифровкой делений не более чем через каждые 5 уз. Информация о пройденном расстоянии должна отображаться в цифровом виде. Указатель должен охватывать диапазон от 0 до отсчета не менее 9999,9 мили с шагом не более 0,1 мили. Индикация указателей должна быть легко воспринимаемой для снятия отсчетов в дневное и ночное время.

Эксплуатационно-технические характеристики лага не должны ухудшаться при бортовой качке судна до $\pm 10^\circ$ и килевой качке до $\pm 5^\circ$.

Всем перечисленным требованиям в полной мере удовлетворяет индукционный электронный лаг ИЭЛ-2М.

В настоящем пособии обращено особое внимание на физические принципы, используемые при измерении скорости индукционным способом. В отечественной учебной литературе для судоводителей эти вопросы освещены неполно.

Рис. 1.1

Величина магнитного потока, проходящего через плоскую поверхность площадью S (рис. 1.1), может быть найдена из выражения

$$\Phi = B \cdot S, \quad (1.2)$$

где B – вектор магнитной индукции.

Уравнение справедливо для однородного магнитного поля, причем поверхность S расположена перпендикулярно вектору B .

Первая часть определения электромагнитной индукции говорит о том, что ЭДС, наводимая в проводнике, зависит от его движения в магнитном поле (рис. 1.1). Очевидно, что это обстоятельство позволяет измерить скорость движения проводника относительно магнитного потока, изменение которого происходит за счет изменения площади поверхности, описываемой проводником:

$$dS = l \cdot dR = lV \cdot dt.$$

Следовательно, ЭДС в проводнике будет

$$\varepsilon_{\text{н}} = -B \cdot \frac{dS}{dt} = -BlV. \quad (1.3)$$

Этот сигнал называется пропорциональным, или полезным, так как содержит информацию о скорости и прямо пропорционален ей:

$$V = \frac{|\varepsilon_{\text{н}}|}{Bl}. \quad (1.4)$$

Механизм возникновения указанной ЭДС стал понятен после открытия Э. Резерфордом в начале XX века изменения траектории электрически заряженных частиц при их движении в магнитном поле. Х. Лоренц объяснил отклонение таких частиц действием особой силы, названной его именем – силой Лоренца. Сторону этого отклонения можно определить, пользуясь правилом левой руки: если расположить руку так, чтобы вектор магнитной индукции B входил в ладонь, а вытянутые четыре пальца совпали с направлением движения частиц, то отставленный большой палец покажет направление силы Лоренца, куда движется положительный заряд (отрицательный – в противоположную сторону). Известно, что электропроводность материала объясняется наличием в нем свободных электрических зарядов. В металлическом проводнике это электроны. На рис. 1.1 показан отрезок металлической проволоки. При его движении в

магнитном поле электроны под действием силы Лоренца перемещаются к концу \mathcal{E}_1 , который приобретает отрицательный заряд (правило левой руки). На конце \mathcal{E}_2 образуется недостаток электронов, и он становится положительно заряженным. Сила взаимодействия между положительно и отрицательно заряженными концами проводника компенсирует силу Лоренца, и перераспределение электронов прекращается. Уравнения (1.3) и (1.4) справедливы как раз для такого равновесного состояния. Измерив напряжение на концах проводника, можно получить скорость его движения.

Следует отметить, что данное явление не зависит от выбора системы отсчета, то есть при движении магнитного поля относительно проводника, в нем также наводится ЭДС в соответствии с теми же выражениями (1.3) и (1.4), что и используется в индукционных лагах. Для этого в днище судна устанавливается электромагнит, а проводником является морская вода.

Чувствительный элемент (ЧЭ) индукционного лага (рис. 1.2) представляет собой изолированный корпус 1, внутри которого помещен электромагнит 2. Корпус установлен в подводной части судна так, что магнитный поток излучается в воду, освещая участок поверхностью S . При движении судна под действием силы Лоренца в соответствии с правилом левой руки положительные ионы перемещаются в пределах участка S , как и в линейном проводнике, в направлении левого борта, а отрицательные – в направлении правого. Для измерения возникшей ЭДС \mathcal{E}_n в корпусе ЧЭ установлены электроды \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Напряжение с электродов поступает в схему лага, выдавая электрический сигнал в показания скорости судна.

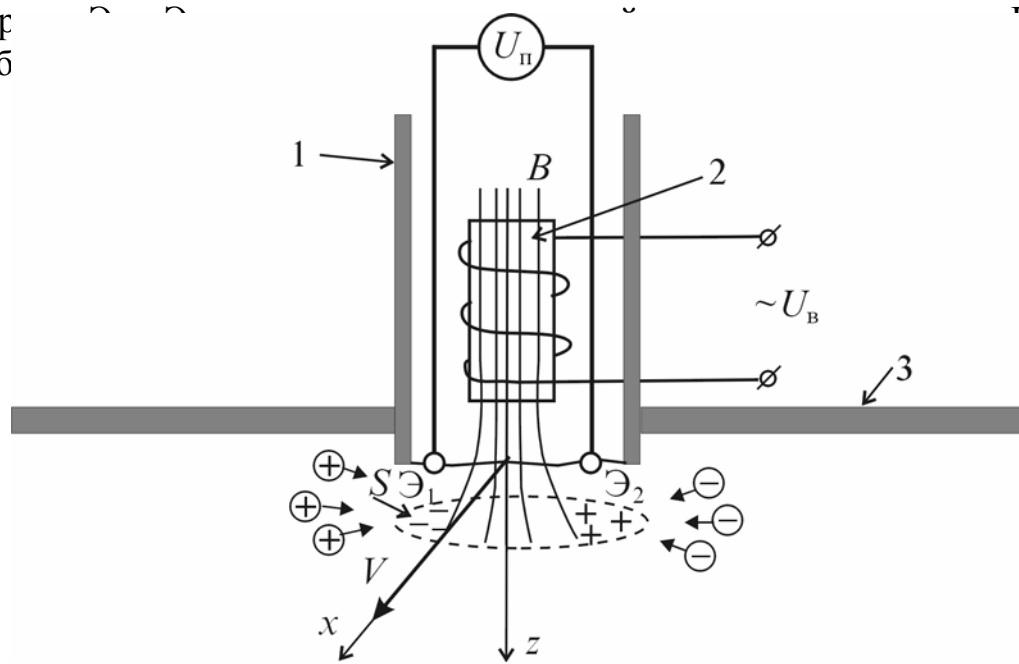


Рис. 1.2. 1 – корпус ИППС, 2 – электромагнит, 3 – днище судна

Чувствительный элемент лага имеет и собственное название: индукционный первичный преобразователь сигнала (ИППС). Часто в литературе встречается более простое название – индукционный преобразователь (ИП). Казалось бы, задача решена, скорость получена. Однако закон Фарадея в чистом виде наблюдается только в металлическом проводнике. В водной среде на это явление накладываются многие факторы, зависящие от свойств морской воды. Их влияние настолько велико, что измерение скорости без дополнительных мер становится невозможным. Рассмотрим наиболее значительные помехи измерениям и способы их исключения.

1.2. Квадратурная помеха

Вернемся к механизму возникновения ЭДС в металлическом проводнике. С увеличением скорости проводника возрастает сила Лоренца, что приводит к повышению плотности электронов, а следовательно, к увеличению электродвижущей силы $\varepsilon_{\text{л}}$. Благодаря свойствам электронов их плотность может возрастать до очень высоких значений, что обеспечивает возможность наблюдать закон Фарадея в большом диапазоне скоростей.

В морской воде растворено огромное количество солей, поэтому в ней свободные заряды – это ионы, то есть молекулы, приобретшие или потерявшие один или несколько электронов. При соизмеримости зарядов размеры и массы ионов несоизмеримо больше, чем размеры и массы электронов. Когда судно движется, то под действием силы Лоренца ионы одного знака оказываются на участке S (рис. 1.2) в непосредственной близости друг от друга, то есть их плотность очень быстро становится предельной. Дальнейшее увеличение скорости, а вместе с тем и силы Лоренца не приводит к повышению плотности электрического заряда и к увеличению ЭДС $\varepsilon_{\text{л}}$. Таким образом, закономерность (1.4) уже при очень малых скоростях не выполняется. Такое явление называется явлением поляризации участка проводника. Оно делает невозможным измерение скорости судна, если в ЧЭ используется постоянный магнит.

Вторая важная причина, не позволяющая использовать лаг предложенной выше конструкции, – это неограниченность проводника, которым, в принципе, является весь Мировой океан. 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. Скорость компенсации зависит от скорости движения молекул, то есть от температуры, плотности, солености воды, от степени ее перемешивания вследствие волнения и движения судна. Влияние этого множества случайных факторов приводит к появлению непредсказуемой помехи, отличить которую от полезного сигнала невозможно.

Кроме того, накопление электрических зарядов на электродах резко увеличивает переходное сопротивление контакта "вода – электрод", что также ухудшает работу лага.

Для исключения поляризации и сопутствующих ей явлений в индукционном преобразователе применяется переменный магнит. Для его питания используется напряжение U_B промышленной частоты 50 Гц. Вектор магнитной индукции электромагнита 2 изменяется синфазно (то есть, совпадая по фазе) питающему напряжению

$$B = B_{\max} \sin \omega t, \quad (1.5)$$

где B_{\max} – амплитуда магнитной индукции;
 ω – круговая частота питающего напряжения.

Тогда для полезного сигнала запишем

$$\varepsilon_{\text{п}} = -B_{\max} \frac{dS}{dt} \cdot \sin \omega t = -B_{\max} lV \sin \omega t. \quad (1.6)$$

Теперь возникшая знакопеременная сила Лоренца заставляет ионы двигаться от одного электрода к другому. Причем, чем больше скорость судна, тем выше скорость перемещения ионов, а значит больше величина $\varepsilon_{\text{п}}$. Измерение скорости судна стало возможным, так как пропорциональность сигнала $\varepsilon_{\text{п}}$ и скорости восстановлена. Однако применение переменного электромагнита привело к еще одному нежелательному явлению – к возникновению квадратурной помехи $\varepsilon_{\text{к}}$. Для того чтобы исключить ее из показаний лага, необходимо знать ее характеристики.

В массивных проводниках, находящихся под действием переменного магнитного потока, также наводится ЭДС. При этом в толще проводника образуется контур, в котором индуцируются токи, носящие вихревой характер, так называемые токи Фуко. Морские воды представляют собой проводник гигантских размеров. Естественно, что в воде вокруг магнитного потока также образуется контур S (рис. 1.2), в котором возникает ЭДС, что следует из второй части формулировки электромагнитной индукции. Данная ЭДС и является квадратурной помехой $\varepsilon_{\text{к}}$. Эта помеха воспринимается электродами вместе с полезным сигналом. Однако она не зависит от скорости (то есть не содержит в себе информации о скорости судна), поэтому из показаний лага ее нужно исключить. С этой целью рассмотрим характер ее изменения.

$$\Phi \sim B \sim U_B$$

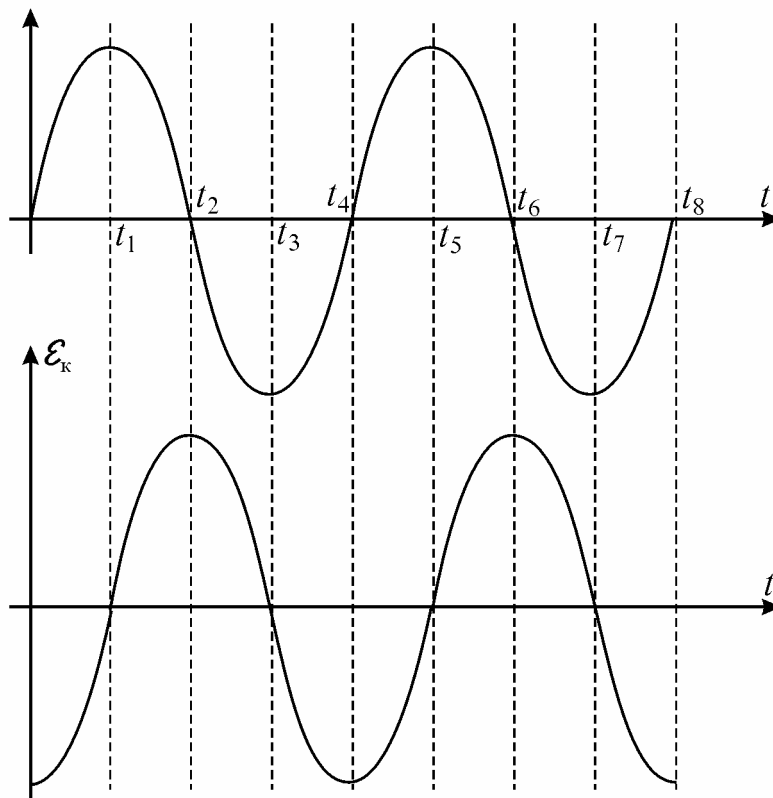


Рис. 1.3

Обратимся к графику (рис. 1.3). Верхняя кривая характеризует изменение магнитного потока, то есть вектора магнитной индукции, синфазно с напряжением U_B питания электромагнита. Напомним, что наводимая ЭДС, в данном случае квадратурная помеха \mathcal{E}_k , пропорциональна скорости изменения магнитного потока (нижняя кривая). Когда вектор B достигает амплитудного значения, то его изменение минимально, так как это точки перегиба кривой B (моменты $t_1, t_3, t_5 \dots$). Следовательно, в эти моменты $\mathcal{E}_k = 0$. Напротив, в моменты $0, t_2, t_4, t_6 \dots$ $B = 0$, но скорость изменения магнитного потока наибольшая, значит, $\mathcal{E}_k = \mathcal{E}_{k \max}$. Очевидно, что квадратурная помеха изменяет свое значение со сдвигом по фазе на 90° относительно вектора B , а следовательно, и относительно полезного сигнала $e_{\text{п}}$:

$$e_k = -S \frac{dB}{dt} = -B_{\max} S \omega \cos \omega t. \quad (1.7)$$

Продифференцирована формула (1.2) с учетом (1.5). Для данного случая, то есть при отсутствии движения, $S = \text{const}$, а изменяется только вектор B .

Сравнивая выражения (1.6) и (1.7), приходим к выводу, что значение квадратурной помехи сдвинуто по фазе на $\pi/2$ относительно полезного сигнала, что и определило ее название. Подобное явление, кстати, происходит в трансформаторе. В его первичной обмотке образуется магнитный поток, который по сердечнику, играющему роль магнитопровода, доставляется ко вторичной обмотке. Пересекая контуры витков перпендикулярно их плоскости, он наводит во вторичной обмотке ЭДС. Величина электродвижущей силы во вторичной обмотке без нагрузки сдвинута по фазе относительно первичной также на 90° . По этой причине квадратурную помеху иногда называют трансформаторной. В конечном итоге на электродах образуется суммарный сигнал:

$$e = e_{\pi} + e_k.$$

Входное сопротивление лага очень велико, поэтому можно считать, что напряжение $U_{\text{ин}}$ на электродах равно величине E . Тогда с учетом (1.6) и (1.7):

$$U_{\text{ин}} = -B_{\max} l V \sin \omega t - B_{\max} S \omega \cos \omega t. \quad (1.8)$$

Сдвиг по фазе на 90° позволяет отделить квадратурную помеху от полезного сигнала. В аналоговых лагах это производят на стенде, когда нет относительного движения воды и магнита. Для этого подбирают с помощью, например, синусно-косинусного вращающегося трансформатора напряжение, равное по величине и противоположное по фазе напряжению квадратурной помехи. В электронных лагах помеха отделяется и исключается другими способами (см. 4). В конечном итоге схема лага решает уравнение

$$\varepsilon_{\pi} \approx U_{\pi} = -B_{\max} l V \sin \omega t, \quad (1.9)$$

откуда

$$V \approx \frac{|U_{\pi}|}{B_{\max} l \sin \omega t}. \quad (1.10)$$

Так индукционный лаг измеряет скорость судна относительно воды.

1.3. Погрешности измерения скорости индукционным лагом

Индукционный лаг по сути является электротехническим измерительным устройством. Любые электрические измерения могут проводиться с определенной степенью точности. Погрешности лага можно классифицировать по различным признакам. Для индукционного электронного лага погрешности удобно разделить на следующие группы:

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

1.3.1. Погрешности измерительной схемы

Применение для обработки информации электронной схемы позволило повысить точность измерения скорости, снизить порог чувствительности лага, упростить приемы его обслуживания. Возникающие в схеме погрешности незначительны и обусловлены, в основном, изменением характеристик электроэлементов и наводками паразитных напряжений в отдельных цепях схемы. Погрешность выявляется при отсутствии сигнала от индукционного преобразователя. Для данной проверки предусмотрен специальный режим работы лага, при котором входная цепь замыкается накоротко, а с помощью специального регулятора устанавливается нулевое значение скорости с точностью до 0,1 узла.

1.3.2. Погрешности чувствительного элемента

Основными причинами возникновения данной погрешности являются собственная ЭДС электродов и токи утечки и наводок в контуре приемного устройства.

Первая причина обусловлена явлениями электролиза. Морская вода является электролитом, поэтому на опущенных в нее электродах происходят окислительно-восстановительные реакции, которые сопровождаются электрическими токами. Последние и создают погрешность в измерении скорости. Для уменьшения этой ЭДС подбирают пары электродов с идентичными характеристиками и изготавливают их из малоактивных, то есть 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 собирательных электродов", приводят к появлению дополнительной ЭДС в измерительной схеме чувствительного элемента.

Наибольшее влияние оказывают судовые электротехнические установки, питающиеся током той же частоты, что и

электромагнит ЧЭ (50 Гц). Устранение этих наводок достигается экранировкой отводящих от электродов проводов и их сплетением в жгут, а также заземлением всех приборов лага.

Кроме того, нелинейность характеристики электромагнита приемного устройства приводит к искажению гармонического закона изменения его магнитного поля, что также сказывается на точности показаний лага.

Суммарную погрешность от всех перечисленных явлений можно считать систематической хотя бы на небольшом промежутке времени.

1.3.3. Погрешности, обусловленные влиянием внешней среды

К данной группе относятся погрешности, вызванные изменением солёности морской воды, местом установки приемного устройства лага, статическим креном и дифферентом, качкой судна, волновым движением воды и ее температурой.

1. С изменением солёности в морской воде изменяется количество электрических зарядов, однако при использовании в ЧЭ переменного магнита данное обстоятельство на погрешности лага практически не сказывается. Экспериментальные данные показали, что при изменении солёности морской воды изменяется внутреннее сопротивление R_i чувствительного элемента. По закону Ома напряжение (1.8), поступающее от приемного устройства на измерительную схему лага, определяется выражением

$$U_{\text{ин}} = \frac{\varepsilon \cdot R}{R_i + R}, \quad (1.11)$$

где R – входное сопротивление измерительной схемы.

Данное напряжение зависит от R_i , следовательно, для уменьшения подобной погрешности выполняется условие $R \bullet R_i = \text{const}$. Тогда напряжение (1.8) измеряется наиболее точно. В лаге ИЭЛ-2М уменьшение солёности воды от 36 до 0,1 ‰ приводит к погрешности не более 0,1 узла. Таким образом, указанная погрешность практически не снижает точность работы лага.

2. Погрешность, обусловленная местом установки приемного устройства лага, возникает из-за наличия пограничного слоя, то есть слоя воды, который частично увлекается корпусом судна при его движении. Она особенно велика у лагов, чувствительный элемент которых устанавливается заподлицо с днищем судна (например, у лага ИЭЛ-2М). Кроме того, в потоке воды, обтекающей днище, существуют турбулентные вихри, что приводит к возникновению циркуляционных токов, вызывающих падение напряжения на собирательных электродах. Возникающая при этом разность потенциалов зависит от турбулентности, электропроводности воды и градиента скорости потока. Погрешность носит систематический характер и определяется и устраняется на мерной линии.

Если вблизи приемного устройства лага, особенно впереди него, проводились корпусные работы, то погрешность может измениться. Отсюда и требование об обязательном прохождении мерной линии после докования судна.

Особенно значительно изменяется величина погрешности, если корпус судна обрастает. Из практики известны случаи полного прекращения работы лага ИЭЛ-2М, вызванного этой причиной. Для предотвращения столь резкого возрастания погрешностей нужны плановые осмотры корпуса и, при необходимости, его очистка. Данное требование обусловлено, кроме всего прочего, еще и экономическими соображениями, так как при обрастании корпуса снижается скорость судна и увеличивается расход топлива.

3. Статический крен и дифферент (особенно дифферент) вызывают значительную погрешность в показаниях лага. Дело в том, что максимальная ЭДС наводится в проводнике, когда он движется перпендикулярно магнитному потоку, то есть когда участок S перпендикулярен вектору магнитной индукции B . В результате крена или дифферента вектор отклонен от вертикали на соответствующий угол θ , поэтому в контуре S возникает ЭДС, пропорциональная косинусу этого угла:

$$\varepsilon = (\varepsilon_{\text{п}} + \varepsilon_{\text{к}}) \cos \theta$$

Очевидно, что 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, то есть приобретает постоянную отрицательную погрешность, которая исчезает с улучшением погоды. Кроме того, резкие колебания скорости воды вблизи индукционного преобразователя, вызванные волнением, качкой, приводят к возникновению случайных погрешностей. Их влияние снижается увеличением времени осреднения скорости, для чего в приборе 6 (рис. 4.1) тумблер "фильтр" переключают в положение "2".

2. СОСТАВ КОМПЛЕКТА, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, УСТРОЙСТВО ПРИБОРОВ

2.1. Назначение, комплектация, технические характеристики

Лаг ИЭЛ-2М предназначен для измерения относительной скорости судна и пройденного им расстояния. Лаг может устанавливаться на любых судах с неограниченным районом плавания.

В качестве чувствительного элемента используется индукционный первичный преобразователь сигнала (ИППС). Часто его называют просто "индукционный преобразователь" (ИП) – прибор 9.

Прибор 6 – центральный прибор; предназначен для выработки относительной скорости судна и пройденного им расстояния.

Прибор 3 – прибор питания.

Прибор 29 – согласующий прибор; предназначен для предварительного усиления сигнала чувствительного элемента и согласования выходного сигнала ИП и входного сопротивления прибора 6.

Прибор 59 – трансляционный прибор; предназначен для трансляции информации о скорости в цифровом виде.

Прибор 119 – предназначен для преобразования информации о скорости в аналоговый вид и трансляции ее потребителям.

Прибор 1 – цифровой индикатор скорости.

Прибор 5 – содержит цифровой индикатор скорости и механический счетчик пройденного расстояния.

Технические данные

- лаг измеряет скорость вперед от 0 до 30 узлов, скорость назад лаг не измеряет;
- инструментальная погрешность • 0,2 узла;
- в помещении, где установлены приборы лага, допускается перепад температуры от -10° до $+50^{\circ}$ С;
инструментальная погрешность при этом может изменяться в пределах • 0,35 узла;
- питание лага осуществляется однофазным током частотой 50 Гц, напряжением 220 В;
- потребляемая мощность составляет 150-200 Вт в зависимости от количества потребителей;
- ресурс лага равен 50 000 часов.

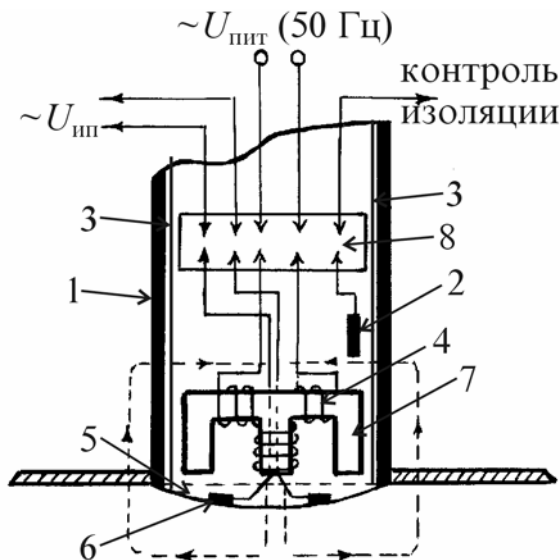


Рис. 2.1

2.2. Конструкция приборов лага

1. Индукционный преобразователь (прибор 9) устанавливается в специальном клинкете, обеспечивающем выдвижение прибора за борт. Нижняя часть 5 преобразователя (рис. 2.1) выполнена из изоляционного материала и может выступать за пределы днища судна на 1-2 см. Магнитное поле возбуждается трехстержневым электромагнитом 7, который имеет три последовательно соединенные обмотки 4, питающиеся переменным напряжением $U_{в}$ частотой 50 Гц. Съем сигнала $U_{ипт}$ из воды обеспечивается собирательными электродами 6, которые

находятся в плоскости шпангоута и соприкасаются с забортной водой. Корпус 3 прикреплен к стойке 1 прибора 9. Его внутренняя полость залита компаундом, в качестве которого используется эпоксидная смола. Для контроля за состоянием изоляции между проводами и корпусом 3 имеется дополнительный электрод 2. К нему подводится отдельный провод, что позволяет замерить сопротивление изоляции прибора. Для уменьшения помех (см. 1.3.2) все провода индукционного преобразователя экранированы и скручены в жгут. Они подведены к штепсельному разъему 8 для подключения к схеме лага.

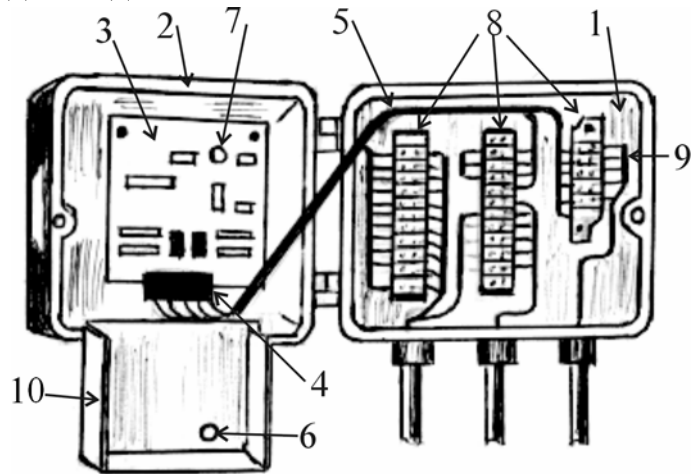


Рис. 2.2

Согласующий прибор (прибор 29) заключен в корпусе 1 (рис. 2.2) с откидной крышкой 2. На внутренней стороне крышки на специальной плате установлен предварительный усилитель (УП) 3. В нижней части платы имеется штырьковое соединение 4, служащее через жгут проводов 5 для подключения предварительного усилителя к схеме лага. Усилитель экранирован специальным кожухом 10. В кожухе имеется отверстие 6 для наблюдения за лампой 7, сигнализирующей о наличии выходного сигнала УП.

Внутри корпуса прибора 29 имеется три контактных платы, благодаря которым возможен доступ к проводам, соединяющим прибор со схемой лага.

В процессе регулировки лага на мерной линии (см. 5.1) коэффициент пропорциональности U_m между полезным сигналом U_n и скоростью судна может измениться столь значительно, что с помощью специальных регулировочных резисторов "Масштаб" его отрегулировать не удастся. В этом случае значение U_m можно изменить путем ступенчатого изменения коэффициента усиления УП. Для этой цели служат переключатели 9. Их перепайкой подключаются к схеме резисторы 29R20, 29R21 и 29R22 (см. функциональную схему), тем самым изменяется коэффициент усиления в пределах \bullet 25%. Прибор устанавливается поблизости от выгорodka приемного устройства.

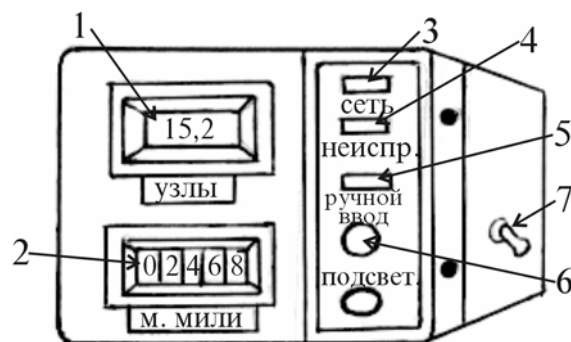


Рис. 2.3

Центральный прибор (прибор 6) решает задачу выработки скорости и пройденного расстояния. В нем сосредоточены органы управления и контроля лага. На лицевую панель (рис. 2.3) прибора 6 выведено цифровое табло (1) указателя скорости, окно 2 счетчика пройденного расстояния, сигнальные табло 3 "Сеть" зеленого цвета, 4 – "Неисправность" (красного цвета) и 5 – "Ручной ввод" (желтого цвета). Для регулировки яркости освещения шкалы счетчика пройденного расстояния в нижнем

правом углу находится рукоятка 6. Справа у задней стенки корпуса прибора в специальной нише установлен тумблер для включения лага.

Внутри прибора 6 на специальных съемных платах смонтированы блоки схемы лага (рис. 2.4):

- блок 1 выработки синхроимпульсов с генератором прямоугольных импульсов ГПИ и схемой управления ключами СУ (см. схему рис. 3.2);
- блок 2, в который входят усилители измерительного и опорного канала (УИК и УОК) и преобразователь "напряжение – время" (ПНВ);
- блок 3 управления с панелью 13;
- блок 4 цифрового фильтра;
- блок 5 делителя;
- блок 6 выдачи информации для подключения к центральному прибору дополнительных индикаторов скорости и счетчиков пройденного расстояния (приборы 1 и 5), а также трансляционных приборов 59 и 119;
- блок 7 – корректор с коммутатором 8;

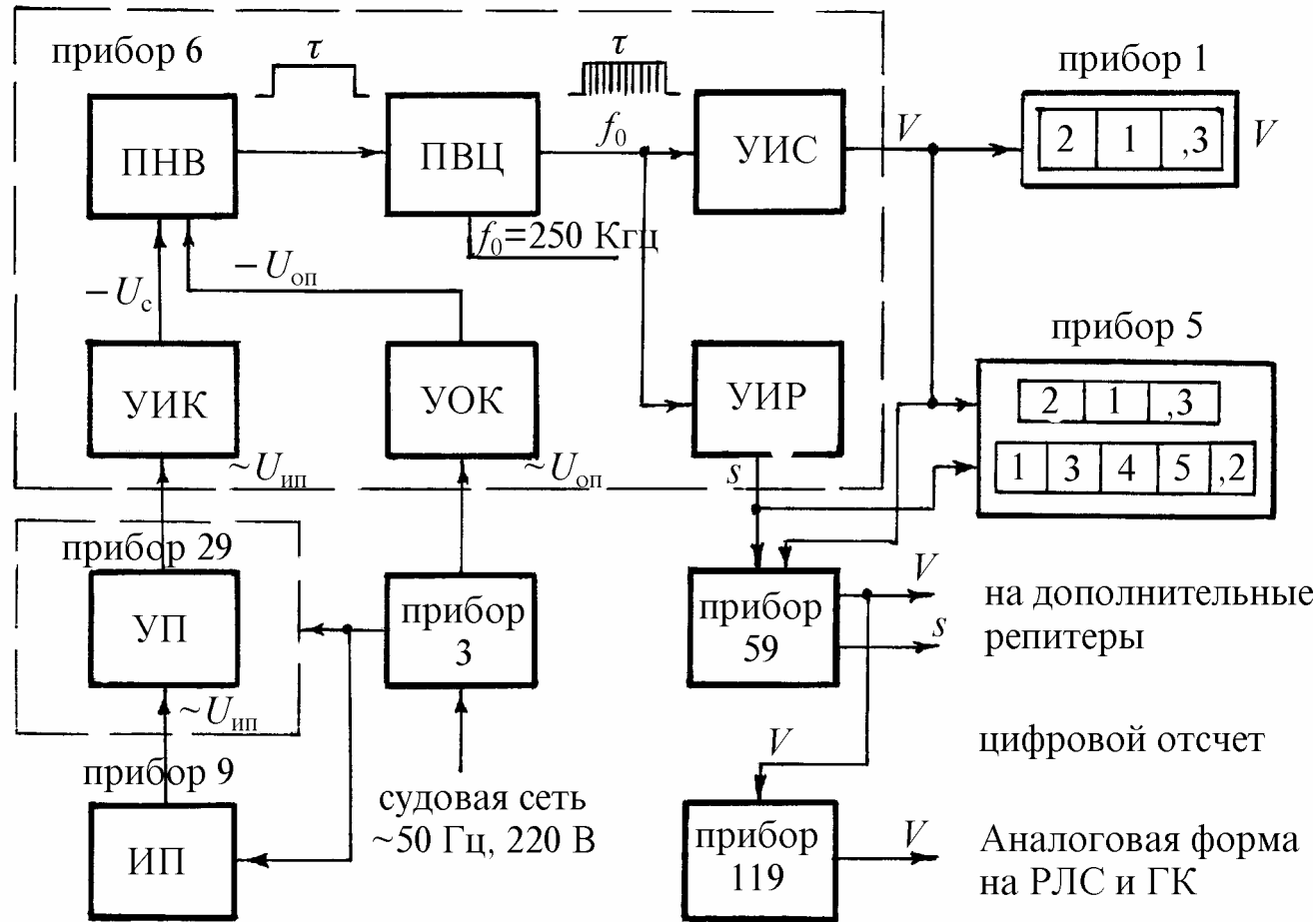
3. БЛОК-СХЕМА И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЛАГА ИЭЛ-2М

3.1. Блок-схема

При движении судна в чувствительном элементе лага ИП возникает сигнал переменного напряжения $U_{ип}$, который представляет из себя сумму полезного напряжения, пропорционального скорости, и напряжения квадратурной помехи. Сигнал $U_{ип}$ поступает в прибор 29 (рис. 3.1), в котором находится предварительный усилитель УП, решающий задачу согласования выходного сопротивления индукционного преобразователя с входным сопротивлением усилителя измерительного канала УИК. В блоке УИК происходит усиление сигнала, а также отделение от него и подавление квадратурной помехи. Оставшийся полезный сигнал преобразуется в отрицательное напряжение

$-U_c$, которое пропорционально скорости судна. Данное напряжение поступает в преобразователь "напряжение – время" (ПНВ). В этот же преобразователь из усилителя опорного канала УОК подается постоянное напряжение $U_{оп}$ с положительным знаком. Опорное напряжение $U_{оп}$ вырабатывается в приборе питания (прибор 3). В блоке ПНВ методом двойного интегрирования при помощи сигналов $-U_c$ и $U_{оп}$ создается прямоугольный импульс, длительность τ которого пропорциональна скорости судна V .

Для измерения значения скорости V служит преобразователь "время – цифра" ПВЦ. В нем происходит заполнение импульса τ частотой $f_0 = 250$ кГц от опорного генератора. Очевидно, что чем больше скорость, тем продолжительнее



тельнее τ и, следовательно, тем большее количество импульсов опорной частоты уместится в этом промежутке времени. По данной информации в устройстве индикации скорости УИС на цифровом табло прибора 6 вырабатывается и высвечивается значение скорости, а в устройстве индикации расстояния УИР – значение пройденного расстояния s . Эти же данные через трансляционные приборы 59 и 119 подаются на репитеры и другим потребителям.

3.2. Функциональная схема

Функциональная схема подразделяется на следующие основные части: аналоговая часть (АЧ); преобразователь "напряжение – время" (ПНВ); преобразователь "время – цифра" (ПВЦ).

3.2.1. Аналоговая часть

В аналоговую часть входят: предварительный усилитель УП, усилитель измерительного канала УИК и усилитель опорного канала УОК (рис. 3.2).

1. Предварительный усилитель предназначен для согласования выходного сопротивления индукционного преобразователя с входным сопротивлением усилителя измерительного канала УИК. В состав блока УП входят два операционных усилителя 29А1 и 29А2, а также два реле 29К1 и 29К2, имеющих соответствующие контакты.

Управление этими реле производится переключателем 6S1 режимов работы лага, расположенным в приборе 6.

В режиме "Работа" (положение 1 переключателя) обмотки реле обесточены, их контакты замкнуты так, как показано на схеме, и на вход УП подается сигнал $\sim U_{ин}$. Лаг в этом случае показывает скорость судна.

В положении 2 "Калибровка" на обмотку реле 29К1 подается постоянный ток напряжением 15 В. Его контакты 29К1-1 и 29К1-2 переключаются в нижнее (по схеме) положение, и вход предварительного усилителя замыкается накоротко. Это означает полное отсутствие напряжения и лаг должен показывать нулевое значение скорости (допустимая величина 0,1 узла).

В противном случае регулировкой резистора 6R6 необходимо добиться допустимого значения. Так исключаются погрешности вычислительной схемы (см. 1.3.1).

В положении 3 "Масштабирование" напряжение подается на реле 29К2. Его контакты 29К2-1 и 29К2-2 переходят вниз (по схеме), и на вход УП подается эталонное напряжение с резистора 3R1. Лаг должен показывать эталонное значение скорости, определенное на мерной линии и записанное на матовом стекле в приборе 6.

Резисторы 29R20, 29R21, 29R22 служат для ступенчатого изменения коэффициента усиления УП при регулировке лага на мерной линии, когда новое эталонное значение скорости вышло за пределы их возможной установки с помощью резисторов "Грубо" и "Плавно" (см. 2.2). Схема контроля СК позволяет определить наличие сигнала с помощью лампы 29Н1.

В дальнейшем для изложения работы схемы полезно рис. 3.2 и рис. 3.3 рассматривать одновременно.

2. Блок усилителя измерительного канала УИК имеет два операционных усилителя 6А2 и 6А5. Из предварительного усилителя сигнал $U_{ин}$, состоящий из суммы полезного сигнала $U_{п}$, пропорционального скорости и квадратурной помехи $U_{к}$, поступает на вход 6А2. С его выхода сигнал идет на электронный ключ 6А7.1 и на вход 6А5. Данный усилитель

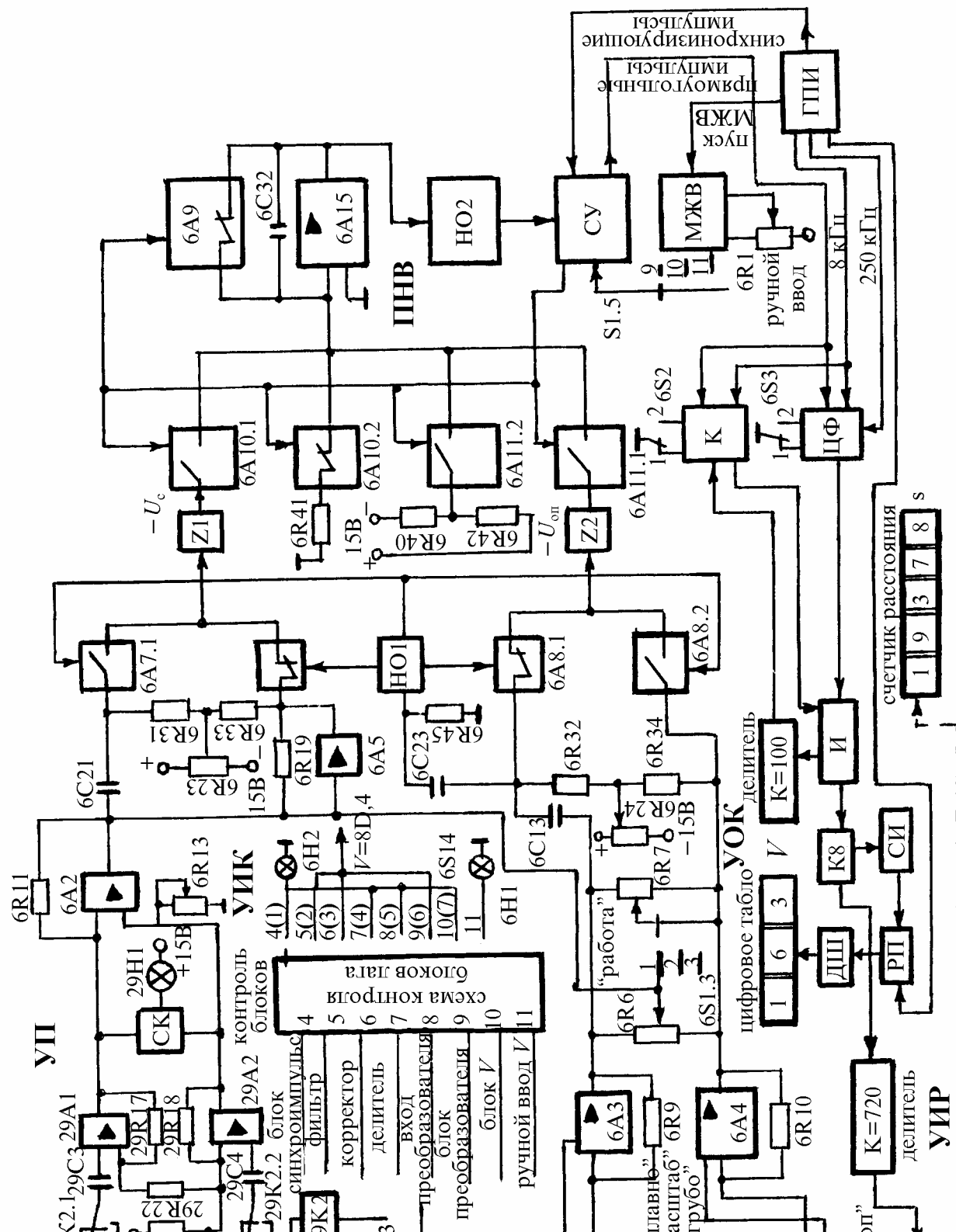
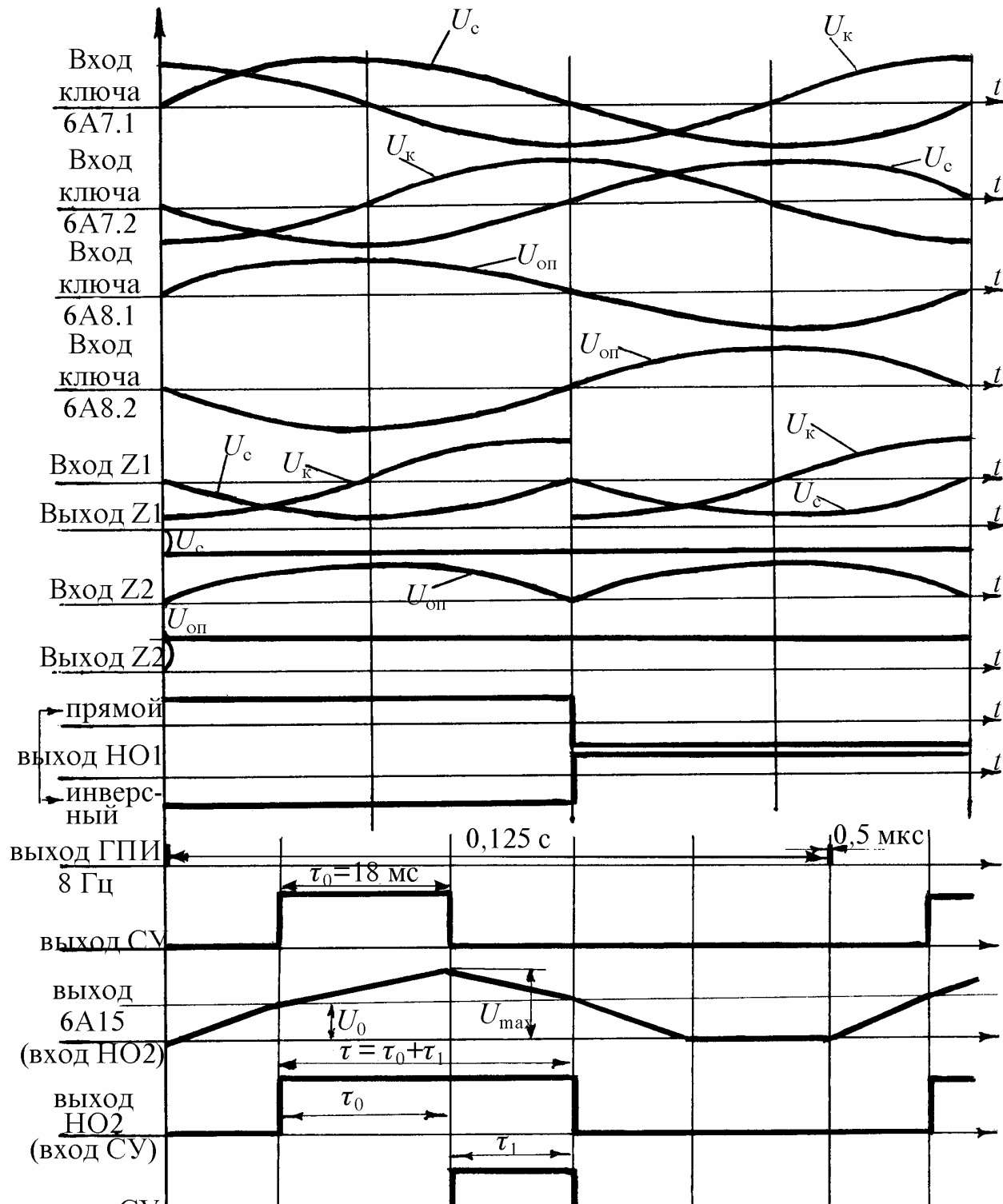


Рис. 3.2.

6А7.2. Таким образом, на данных
ые по фазе относительно друг друга на



Рассмотрим подавление квадратурной помехи методом синхронного детектирования. Управление электронными ключами производится с помощью нуль-органа НО1, который синхронно с полезным сигналом подает на них прямоугольные импульсы. Допустим, в момент времени, обозначенный на диаграмме "0", замкнут ключ 6А7.2, а 6А7.1 разомкнут, следовательно, на вход фильтра Z1 поступает сигнал с инвертора 6А5. В следующий полупериод импульс нуль-орган замыкает ключ 6А7.1 и размыкает 6А7.2. Теперь на вход Z1 поступает сигнал с усилителя 6А2. Следующим импульсом нуль-орган переключает ключи в первоначальное положение. Благодаря поочередному подключению ключей на входе фильтра Z1 образуется пульсирующее напряжение полезного сигнала U_c одного знака (отрицательное) и знакопеременное напряжение квадратурной помехи. Фильтр работает по принципу интегратора. Это означает, что вначале суммируется отрицательный сигнал квадратурной помехи, а затем его компенсирует положительная часть U_c . Таким образом, на выходе фильтра Z1 квадратурная помеха отсутствует. Напряжение полезного сигнала U_c сглаживается. В конечном итоге с выхода Z1 в схему ПНВ идет напряжение постоянного тока U_c , пропорциональное скорости V судна.

Из схемы (рис. 3.2) видно, что нуль-орган НО1 работает синфазно с полезным сигналом, так как его питание и питание электромагнита производится от одного источника.

3. Усилитель опорного канала УОК предназначен для выработки опорного напряжения постоянного тока $U_{оп}$ (положительного) и создания прямоугольных импульсов для управления ключами. В его состав входят два операционных усилителя 6А3 и 6А4, электронные ключи 6А8.1 и 6А8.2, нуль-орган НО1 и фильтр Z2.

Опорное напряжение переменного тока $U_{оп}$ снимается с резистора 3R1, который соединен последовательно с электромагнитом. Затем оно подается на усилители. Очевидно, что на их входе, а следовательно, и на выходе напряжение сдвинуто по фазе на 180° , так как они подключены к разным проводам. По импульсу НО1 в нулевой момент времени (рис. 3.3) замкнут ключ 6А8.1, а ключ 6А8.2 разомкнут. На вход фильтра Z2 поступает положительная составляющая $\sim U_{оп}$. В следующий полупериод положительная часть этого напряжения будет уже на ключе 6А8.2, который в это время замкнут по сигналу НО1, а 6А8.1 разомкнут. Таким образом, последовательное подключение ключей обеспечивает прохождение на вход фильтра Z2 пульсирующего напряжения одного знака. Фильтр данное напряжение выпрямляет и подает в преобразователь "напряжение – время" ПНВ.

Нуль-орган НО1 представляет собой пороговую схему, срабатывающую при переходе подаваемого на вход синусоидального напряжения $U_{оп}$ через нулевой уровень, и предназначен для выработки прямоугольных импульсов, управляющих ключами.

Схема НО1 имеет два выхода: один прямой, второй – через инвертор, поэтому импульсы на обоих выходах отличаются по фазе на 180° . Из диаграммы (рис. 3.3) видно, что в один и тот же момент с выходов нуль-органа снимаются

импульсы, противоположные по знаку. Положительные импульсы прямого выхода открывают ключи 6А7.2 и 6А8.1, отрицательные – запирают их. С инверсного выхода сигналы идут на ключи 6А7.1 и 6А8.2, которые срабатывают в обратном порядке с предыдущими ключами.

3.2.2. Аналого-цифровой преобразователь

В аналого-цифровой преобразователь АЦП входят блоки: ПНВ – преобразователь "напряжение – время"; ПВЦ – преобразователь "время – цифра".

1. Блок ПНВ предназначен для преобразования сигнала U_c во временной интервал τ_1 , пропорциональный скорости. Указанное преобразование производится методом двойного интегрирования: вначале интегрируется отрицательное напряжение полезного сигнала U_c , а затем положительное напряжение опорного канала $U_{оп}$.

Состав ПНВ: генератор прямоугольных импульсов ГПИ; электронные ключи 6А9, 6А10.1, 6А10.2, 6А11.1, 6А11.2; схема управления ключами СУ; интегрирующий усилитель 6А15: нуль-орган НО2, представляющий собой триггерную схему, срабатывающую при достижении на ее входе порогового напряжения U_0 .

Ритм работы преобразователя, а с ним и всей схемы лага задает ГПИ, с которого в схему управления ключами СУ поступают синхронизирующие импульсы длительностью 0,5 мкс и периодичностью 8 Гц.

На рис. 3.2 показано исходное положение вышеперечисленных электронных ключей. В момент времени t_1 (рис. 3.3) синхронизирующий импульс от генератора начинает цикл работы ПНВ, размыкая ключи 6А9, 6А10.2 и замыкая ключ 6А11.2. Тем самым на усилитель 6А15 подается отрицательное напряжение с делителя 6R40 – 6R42. Поскольку данный усилитель интегрирующий, то на его выходе, подключенном к входу НО2, происходит накопление напряжения на конденсаторе 6С32. Когда оно достигает значения U_0 , то нуль-орган НО2 срабатывает (момент t_2) и с его выхода идет прямоугольный импульс, передний фронт которого размыкает ключ 6А11.2 и замыкает ключ 6А10.1. В результате отрицательный полезный сигнал U_c , пропорциональный скорости, проходит на 6А15, накапливаясь на том же конденсаторе 6С32.

В этот же момент времени t_2 блок СУ начинает формировать другой прямоугольный импульс с фиксированной длительностью $\tau = 18$ мкс. В момент времени t_3 задний фронт импульса размыкает ключ 6А10.1 и замыкает ключ 6А11.1. Таким образом, за время $\tau = 18$ мкс конденсатор зарядится полезным сигналом – U_c на величину, пропорциональную скорости судна. Очевидно, что чем больше скорость V , тем больше сигнал – U_c , тем до большей величины зарядится конденсатор. Так происходит интегрирование полезного сигнала.

В момент времени t_3 через ключ 6A11.1 на вход усилителя 6A15 подается положительное опорное напряжение. Поскольку оно имеет противоположный полезному сигналу знак, то конденсатор начинает разряжаться, формируя передний фронт нового импульса τ_1 . Когда конденсатор разрядится до уровня U_0 (момент времени t_4), срабатывает нуль-орган НО2, образуя задний фронт импульса τ_1 , который через схему управления ключами СУ приводит их в исходное (первоначальное) положение, то есть размыкает ключ 6A11.1 и замыкает ключи 6A9 и 6A10.2. Через последний конденсатор разряжается на корпус до нуля (момент времени t_5), и схема ПНВ окончательно готова к новому циклу. Следует отметить, что создание импульса τ_1 происходит интегрированием $-U_{оп}$. Длительность τ_1 тем больше, чем больше заряд конденсатора, который пропорционален скорости V . Следовательно, $\tau_1 \sim V$.

Достоинством рассмотренной схемы является независимость длительности τ_1 , а значит, и показаний лага от изменения напряжения судовой сети. Действительно, за время τ_0 происходит зарядка конденсатора до величины $\tau_0 \sim U_c$. Разрядка происходит за время τ_1 на величину $\tau_1 \sim U_{оп}$.

Очевидно, что $\tau_0 U_c = \tau_1 U_{оп}$.

Допустим, что произошло изменение напряжения питания на $K\%$, то есть, достигло величины $U \left(\frac{100 \pm K}{100} \right)$. На такую же величину в процентном отношении изменяются и зависящие от него U_c и $U_{оп}$. Следовательно,

$$\left(\frac{100 \pm K}{100} \right) \cdot \tau_0 \cdot U_c = \left(\frac{100 \pm K}{100} \right) \cdot \tau_1 \cdot U_{оп} .$$

Это выражение показывает, что временной интервал τ_1 не зависит от колебаний напряжения судовой сети.

Нуль-орган НО2 с момента первого срабатывания до момента второго срабатывания формирует импульс $\tau = \tau_0 + \tau_1$.

Схема управления ключами СУ исключает из него постоянный временной интервал $\tau_0 = 18$ мс. Выходной сигнал блока ПНВ в виде прямоугольного импульса $\tau_1 = nV$ подается на вход преобразователя "время – цифра" (ПВЦ). Здесь n – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструктивных параметров схемы.

В блоке ПВЦ имеется ждущий мультивибратор МВЖ, который вводится в действие установкой переключателя 6S1 (рис.2.4, 3.2, 4.1) в положение "Ручной ввод". Мультивибратор формирует прямоугольные импульсы, длительность которых регулируется переменным резистором 6R1 с помощью специальной рукоятки. Данные искусственно созданные импульсы поступают через схему управления ключами СУ на цифровой фильтр для выработки отсчета введенной скорости и пройденного расстояния.

3.2.3. Преобразователь "время – цифра"

Преобразователь "время – цифра" (ПВЦ) служит для преобразования прямоугольных импульсов длительностью $\tau_1 = nV$, поступающих из ПВЦ, в отсчеты скорости V и пройденного расстояния s . В состав ПВЦ входят: цифровой фильтр ЦФ, корректор K , устройство индикации скорости УИС, устройство индикации расстояния (рис. 3.2).

Работает преобразователь следящим образом. Импульсы τ_1 с частотой следования 8 Гц из схемы управления ключами СУ поступают на вход цифрового фильтра ЦФ. В нем происходит осреднение величин импульсов за промежутки, равный постоянной времени фильтра, и вырабатывается средний прямоугольный импульс $\tau_{ср}$. Таким образом, ЦФ значительно снижает случайную погрешность измерения скорости (см. 1.3.3). С увеличением волнения моря значение случайных погрешностей возрастает, поэтому в фильтре предусмотрено увеличение постоянной времени (времени осреднения), для этого достаточно переключить тумблер 6S3 в положение 2. Строб $\tau_{ср}$ заполняется в ЦФ счетными импульсами от ГПИ с частотой $f_0 = 250$ кГц.

В схеме предусмотрено также исключение из показаний лага систематических погрешностей. Для этой цели служит корректор K , который работает по программе, заданной по данным испытаний лага на мерной линии (см. гл. 5).

Программа определяется характером и величиной поправок лага и вводится в действие дискретно, через один узел.

Сигнал $\tau_{ср}$ из цифрового фильтра поступает на схему И, откуда через делитель $K=100$ передается на корректор K , который вырабатывает импульсы дополнительной частоты $f_{доп}$, пропорциональные поправке лага при данной скорости судна.

С помощью схемы И производится исправление частоты ($f_0 + f_{доп}$) в импульсе $\tau_{ср}$, который поступает в устройство индикации скорости УИС на счетчик импульсов СИ. Последний преобразует информацию в двоично-десятичный код и передает на регистр памяти РП. Одновременно с генератора прямоугольных импульсов ГПИ на регистр памяти поступают управляющие импульсы, которые определяют периодичность индикации скорости 1 Гц. Поскольку частота следования импульсов $\tau_{ср}$ равна 8 Гц, то за 1 с (период обновления информации) счетчик импульсов посчитает количество заполняющих импульсов как величину, равную 8 ($f_0 + f_{доп}$). По этой причине на пути к СИ эта информация проходит делитель $K=8$. В результате деления на 8 решается не только задача правильного подсчета импульсов в СИ, но и происходит дополнительное осреднение информации о скорости.

С выхода регистра памяти код скорости подается на дешифратор, который в соответствии с измеренной скоростью включает лампы на цифровом табло.

Устройство индикации расстояния УИР решает задачу интегрирования скорости, то есть подсчитывает общее число импульсов, идущих пачками с выхода схемы И на делитель с коэффициентом деления $K=720$. В нем вырабатываются

свои счетные импульсы через определенное количество импульсов частоты $f_0 + f_{\text{доп}}$. Пятьсот вновь полученных счетных импульсов соответствуют пройденному расстоянию в 1 милю (один импульс пропорционален 0,002 мили). Данные импульсы после усиления по мощности в 6A16 подаются на шаговый двигатель 6M2, который через редуктор приводит в действие механический счетчик пройденного расстояния s .

Выключателями 6S2 и 6S4 (переводом их в положение "2" соответственно) корректор и счетчик пройденного расстояния могут быть отключены.

4. ОБСЛУЖИВАНИЕ И НАВИГАЦИОННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАГА ИЭЛ-2М

4.1. Подготовка к работе и включение лага

При подготовке судна к выходу в море перед включением лага необходимо проверить сопротивление изоляции сигнального кабеля между прибором 29 и индукционным преобразователем, между прибором 6 и прибором 29, а перед выходом судна на мерную линию, то есть не реже одного раза в год, контролируется изоляция индукционного преобразователя. Для этого по монтажной схеме в приборе 29 отыскивают соответствующие клеммы и мегомметром измеряют сопротивление изоляции между проводами, а также между корпусом и проводами.

С точки зрения пожаробезопасности важной является проверка силового кабеля. В этом случае необходимо отключить питание лага от распределительного щита РЩ судовой сети, в приборе 3 (рис. 2.5) перевести тумблер "Сеть" в положение "Откл." и вынуть находящиеся над ним предохранители 6 из гнезд. Данные гнезда используются для проверки изоляции подводящего кабеля.

Во всех случаях сопротивление изоляции не должно быть менее 100 МОм. После данных проверок упомянутый тумблер 8 в приборе 3 необходимо переключить в положение "Сеть".

Далее нужно убедиться, что органы управления находятся в следующих позициях:

- в приборе 3 тумблер 8 – в положении "Сеть";
- в приборе 6 (рис. 4.1) переключатель 1 – в положении "Работа";
- тумблер 2 "Мили" – в положении "Ход", тумблер 3 "Корректор" – в положении "Откл."; тумблер 4 "Фильтр" – в положении "Откл."

После этого включить лаг тумблером 7 (рис. 2.3) и приступить к проверке лага в тестовом ("Калибровка" и "Масштабирование") и рабочем режимах.

4.2. Проверка и регулировка лага перед выходом в море

1. Калибровка – это операция по исключению погрешностей измерительной схемы (см. 1.3.1). Для выполнения данной проверки и регулировки переключатель 1 в приборе 6 (рис. 4.1) необходимо установить в положение "Уст.О-К". При этом от измерительной схемы отключается индукционный преобразователь, и ее вход замыкается накоротко. Очевидно, что входной сигнал в этом случае равен нулю, следовательно, лаг должен показывать нулевой отсчет скорости. Если же показания скорости на табло отличаются от нулевого значения более чем на 0,1 узла, то потенциометром 5 (6R6 на рис. 3.2) необходимо добиться этого отсчета. Данную регулировку называют установкой электрического нуля схемы.

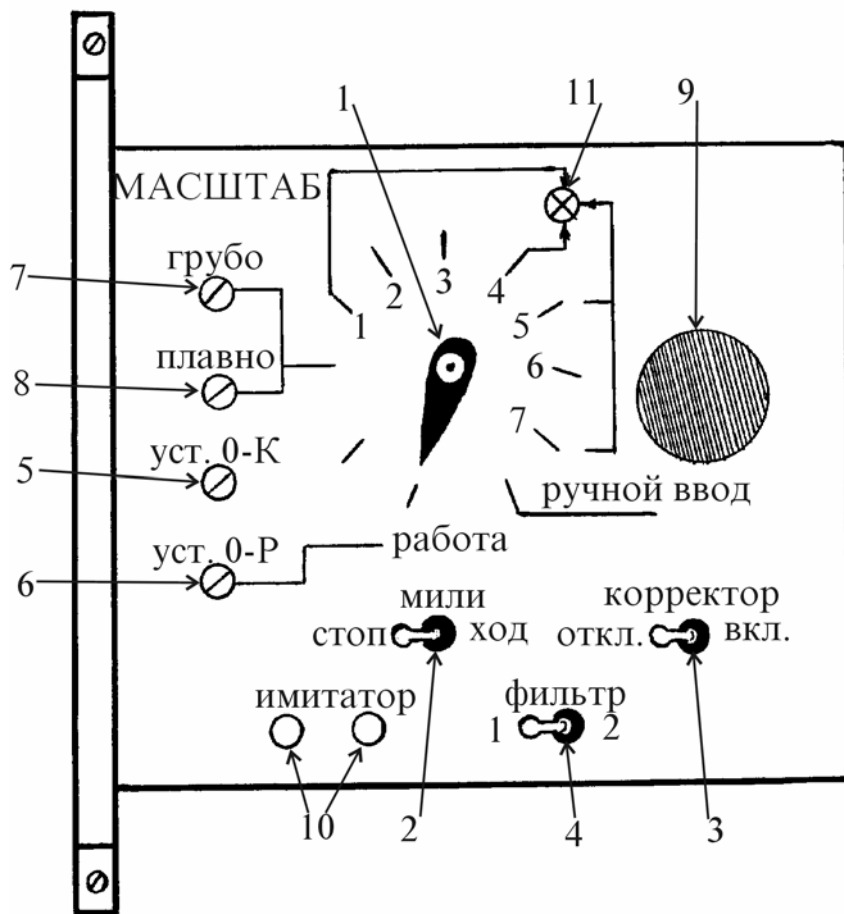


Рис. 4.1

2. Установка рабочего нуля – это проверка и регулировка нулевого начального отсчета скорости при подключенном индукционном преобразователе. Она проводится с целью исключения постоянной поправки лага. Поскольку судно ошвартовано и не имеет хода относительно воды, то лаг должен показывать скорость $V = 0$ с допустимым отклонением 0,1 узла. Однако при этом надо учесть следующие обстоятельства. Во-первых, если погрешность отрицательна, то лаг будет показывать нулевой отсчет скорости, так как его схема рассчитана на фиксацию скорости только при движении судна относительно воды вперед (то есть со знаком плюс).

Во-вторых, в реальных условиях возможно течение, продольная составляющая которого будет влиять на показания лага, так как судно ошвартовано, то есть не увлекается течением. Для исключения влияния течения при выявлении погрешности любого знака предлагается следующая методика:

- установить переключатель 1 в положение "Уст. О-К" (рис. 4.1) и снять значение скорости V_1 (это значение должно быть равно 0 или 0,1, поскольку калибровка уже выполнена);
- потенциометром 5 ("Уст.0-К") установить отсчет скорости $V_2 = 2$ узла;
- перевести переключатель 1 в позицию "Работа" и снять отсчет скорости V'_0 (при наличии продольной составляющей скорости течения V_T это будет алгебраическая сумма $V'_0 = V_0 + V_T$, где V_0 – отсчет скорости, который был бы на неподвижной воде);
- вынуть индукционный преобразователь из клинкетa, развернуть его на 180° и установить в клинкет. Снять отсчет скорости V'_{180° (теперь это алгебраическая разность $V'_{180^\circ} = V_{180^\circ} - V_T$) и, развернув индукционный преобразователь в прежнее положение, закрепить его в клинжете;
- рассчитать среднее значение показаний лага

$$V_{\text{cp}} = \frac{V'_0 + V'_{180^\circ}}{2} = \frac{(V_0 + V_T) + (V_{180^\circ} - V_T)}{2} = \frac{V_0 + V_{180^\circ}}{2} ;$$

таким образом, влияние течения исключено;

- вычислить поправку индукционного преобразователя

$$\Delta V = (V_2 - V_1) - V_{\text{cp}} ;$$

- потенциометром 6 ("Уст. О-Р") установить отсчет скорости с учетом найденной поправки

$$V = V'_0 + \Delta V ;$$

– снова перевести переключатель 1 в положение "Уст.О-К" и соответствующим потенциометром 5 восстановить нулевой отсчет скорости с точностью до 0,1 узла.

Приведенная методика позволяет компенсировать в показаниях лага одну из систематических погрешностей, присущих индукционному преобразователю (см. 1.3.2), исключив влияние внешних возмущений. Данная проверка называется установкой рабочего "нуля" лага.

3. Масштабирование – это проверка пропорциональности вырабатываемой скорости входному напряжению. Данная зависимость выявляется и устанавливается в схеме лага на мерной линии.

Для выполнения данной проверки переключатель 1 (рис. 4.1) устанавливается в положение "Масштаб". В результате срабатывает реле 29К2 (рис. 3.2), контакты которого 29К1 и 29К2 отключают от входа схемы индукционный преобразователь и подключают к выходу предварительного усилителя переменный резистор 3R1. Падение напряжения на этом резисторе является эталонным напряжением. Ему должна соответствовать строго определенная скорость на табло. Ее значение выявляется на мерной линии и устанавливается с помощью резисторов 7 "Грубо" и 8 "Плавно". Величина эталонной скорости записывается на матовом стекле на внутренней стороне прибора 6 и используется в течение года (до следующих испытаний лага на мерной линии) при проверке масштабирования. Если обнаружено отклонение показаний лага от величины, указанной на матовом стекле, то производится его регулировка теми же резисторами "Грубо" и "Плавно".

Операция "Масштабирование" называется проверкой и регулировкой крутизны характеристики измерительной схемы лага, которая сохраняется и в рабочем режиме.

Тестовые проверки "Калибровка" и "Масштабирование" при необходимости могут проводиться и в море.

4.3. Обслуживание лага ИЭЛ-2М в море

Лаг ИЭЛ-2М является прибором, который не требует постоянного обслуживания во время плавания, однако периодический контроль за его работой необходим.

Важнейшим для безопасности судоходства показателем любого навигационного прибора, в том числе и лага, является точность его работы. По этой причине не реже, чем один раз в 4 часа нужно проверять величину и стабильность поправки ИЭЛ-2М во время плавания. Для этой цели в открытом море используются высокоточные обсервации, например, с использованием спутниковых навигационных систем, а вблизи берегов, кроме этого, могут использоваться естественные или искусственные створы. При обнаружении погрешностей, превышающих пределы, установленные требованиями Российского Морского Регистра (см. "Введение") необходимо произвести проверки и регулировки в

тестовом режиме (см. 4.1). В случае, когда погрешности в дальнейшем подтверждаются, и указанными регулировками устранить их не удастся, принимается решение о прохождении судном мерной линии.

При ухудшении погоды, с увеличением волнения моря и качки стабильность работы лага может нарушиться из-за значительных случайных погрешностей (см. 1.3.3). В этом случае тумблер 4 "Фильтр" (рис. 4.1) нужно перевести в положение "2", что увеличивает время осреднения скорости. В результате не только повышается точность измерений, но и восстанавливается стабильность работы лага.

Если во время плавания выйдут из строя индукционный преобразователь или прибор 29, то ИЭЛ-2М уже не может измерять скорость. Однако в этих случаях его можно использовать при ведении счисления как счетное устройство. Для этого в приборе 6 (рис. 4.1) переключатель 1 надо установить в положение "Ручной ввод" и одноименной рукояткой 9 добиться показаний скорости на табло, соответствующих расчетным, по оборотам гребного винта. Пройденное расстояние, необходимое при ведении прокладки, рассчитывается счетчиком в соответствии с введенной скоростью. О переходе на использование лага в режиме ручного ввода делается запись в вахтенном журнале.

В лаге могут возникать и такие неисправности, которые не позволяют использовать его по назначению. Лаг ИЭЛ-2М сконструирован таким образом, что с помощью системы встроенного контроля многие неисправности могут быть достаточно просто выявлены и устранены путем замены соответствующей съемной платы.

При исправной работе лага в приборах 3 и 6 горят табло зеленого цвета "Сеть". Если в приборе отсутствует одно из вырабатываемых напряжений, то блок автоматического контроля и сигнализации включает табло "Неисправность" красного цвета в приборах 3 и 6. Для определения отсутствующего напряжения в приборе 3 имеется схема контроля (рис. 2.5). Последовательным переводом переключателя 9 в обозначенные на панели фиксированные положения проверяется исправность соответствующих блоков. При наличии проверяемого напряжения загорается сигнальная лампа 10. При необходимости любое из напряжений можно измерить, подключив вольтметр к гнездам 11.

Контроль работы индукционного преобразователя и предварительного усилителя осуществляется схемой контроля в приборе 29. При их нормальной работе в приборе 29 горит лампа 7 (рис. 2.2).

Включение схемы контроля прибора 6 осуществляется переводом переключателя 1 (рис. 4.1) в любое из фиксированных положений, обозначенных цифрами 1 – 7. В положении 2 контролируется работа цифрового фильтра, а в положении 3 при включенном корректоре проверяется блок корректора. При их нормальной работе в обоих случаях на табло скорости высвечивается отсчет 80,4 узла.

В положении 5 проверяется блок преобразователя. Если сигнал на входе усилителя измерительного канала УИК имеется, то сигнальная лампа 11 горит постоянным светом. Эта же лампа должна гореть при установке переключателя в положение 7, если исправен блок выдачи информации.

Положение 1 предназначено для проверки блока синхронизирующих импульсов. При его нормальной работе лампа 11 мигает с частотой 1 Гц.

При установке переключателя 1 в положение 4 контролируется блок делителя интегратора (схема УИР). Мигание лампы с частотой 2 Гц указывает на его исправность.

В положении 6 проверяется работа блока преобразователя (схемы УИК, УОК и ПНВ). При исправной работе блока лаг показывает скорость 0,1 – 0,2 узла.

В комплект лага входит ЗИП, в котором имеются все съемные платы.

5. РЕГУЛИРОВКА ЛАГА НА МЕРНОЙ ЛИНИИ

5.1. Характер систематических погрешностей лага ИЭЛ-2М

Как уже отмечалось, с индукционного преобразователя снимается напряжение $U_{ип}$, состоящее из суммы полезного сигнала $U_{п}$ и сигнала квадратурной помехи $U_{к}$. Причем из 1.3.1 следует, что на полезный сигнал могут накладываться погрешности, носящие случайный и систематический характер. Случайные погрешности устраняются осреднением скорости, а также продолжительным наблюдением за отсчетами лага. Систематическая погрешность имеет тот же характер, что и полезный сигнал, складываясь с которым, она искажает его:

$$U_c = U_{п} + U_{пом} .$$

Таким образом, с индукционного преобразователя в общем случае снимается сигнал

$$U_{ип} = U_c \cdot \sin \omega t + U_k \cdot \cos \omega t = (U_{п} + U_{пом}) \cdot \sin \omega t + U_k \cdot \cos \omega t .$$

После прохождения преобразователя сигналов (см. гл. 3) квадратурная помеха благодаря сдвигу по фазе отделяется от полезного сигнала, но синфазная (совпадающая по фазе) остается в составе сигнала U_c .

В результате лаг имеет поправку

$$\Delta V = V_{и} - V_{л} ,$$

где $V_{\text{н}}$ и $V_{\text{л}}$ – истинная и лаговая скорости соответственно.

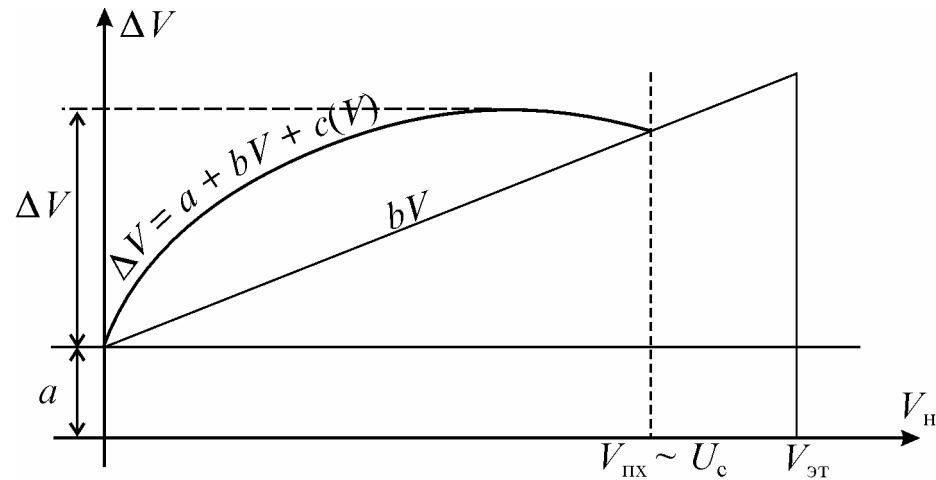


Рис. 5.1

Поправку лага можно разделить на три составляющие (рис. 5.1)

$$\Delta V = a + b \cdot V + c(V) ,$$

где a – постоянная составляющая;

bV – линейная составляющая;

$c(V)$ – нелинейная составляющая.

Постоянная составляющая поправки лага определяется и устраняется при выполнении регулировки "Установка рабочего нуля", методика которой изложена в п. 4.2. Остальные составляющие определяются непосредственно на мерной линии.

В индукционном лаге отсчет скорости $V_{\text{л}}$ судна пропорционален электрическому сигналу индукционного преобразователя (рис. 5.2)

$$V_{\text{л}} = m \cdot U_{\text{с}} .$$

Отсюда следует, что изменением коэффициента m пропорциональности можно внести линейные изменения в показания скорости:

$$V_{\text{н}} = V_{\text{л}} + \Delta V = m_1 \cdot U_{\text{с}} ,$$

где m_1 – новый коэффициент пропорциональности.

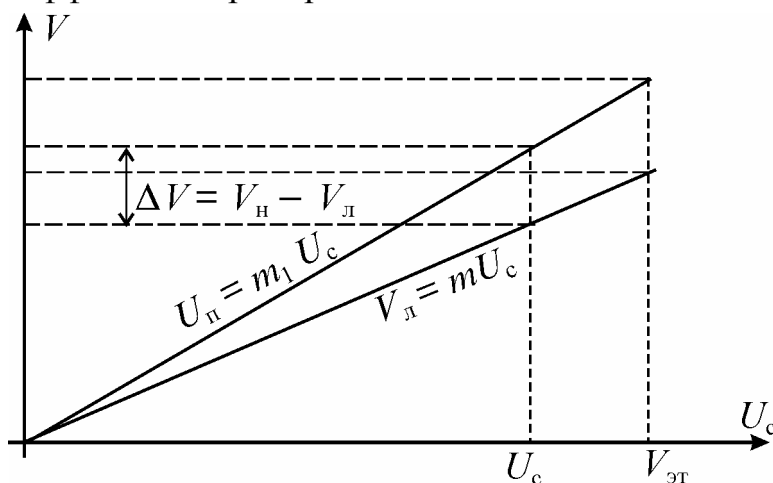


Рис. 5.2

Для выявления новой зависимости определяются истинная $V_{и}$ и лаговая $V_{л}$ скорости на полном ходу судна. Очевидно, что одному и тому же сигналу U_c в общем случае будут соответствовать разные скорости $V_{л}$ и $V_{и}$. Изменив коэффициент пропорциональности, можно ввести поправку лага.

Данная регулировка называется регулировкой крутизны характеристики лага ИЭЛ-2М, или масштабированием. Она выполняется регулировкой опорного напряжения $U_{оп}$ в такой последовательности:

- на мерной линии при выключенном корректоре определяются $V_{и}$ и $V_{л}$;
- старому коэффициенту m соответствует старый отсчет эталонной скорости M_1 , определенной на предыдущей мерной линии и записанной на матовом стекле прибора 6. Рассчитывается M_2 – отсчет эталонной скорости, соответствующий новому коэффициенту m_1 (рис. 5.2)

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{V_{и}}{V_{л}} ; \quad (1.1)$$

- переключатель 1 (рис. 4.1) устанавливают в положение "Масштаб" и с помощью резисторов 7 и 8 приводят отсчет эталонной скорости к значению M_2 . После этого новую величину M_2 записывают на матовом стекле прибора 6;
- в случае, если оба резистора достигают крайнего положения, а значение M_2 установить не удастся, производят ступенчатую регулировку перестановкой перемычек 9 (рис. 2.2) в приборе 29. Тем самым дискретно изменяется

коэффициент усиления предварительного усилителя. После этого с помощью резисторов 7 и 8 (рис. 4.1) устанавливают точное значение M_2 .

Итак, введены постоянная "а" и линейная часть поправки. Теперь ее график выглядит, как показано на рис. 5.3 (сравните с рис. 5.1).

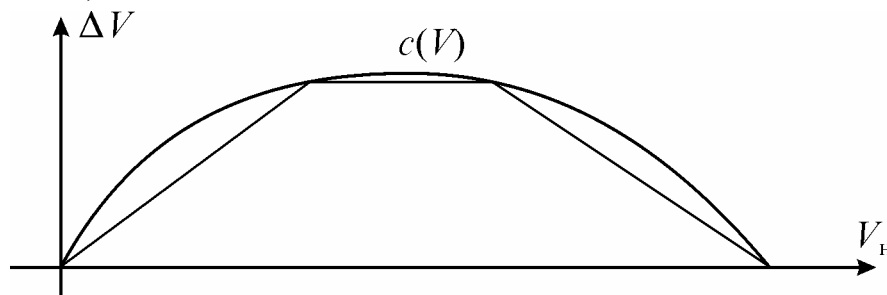


Рис. 5.3

Осталась переменная часть погрешности $c(V)$, которая исключается с помощью корректора. Корректор работает по программе, которая определяется кривой $c(V)$.

Для того чтобы ввести данные в корректор, производят кусочно-линейную аппроксимацию кривой $c(V)$. Поскольку поправки лага определяются на трех режимах скоростей, то и в корректоре предусмотрено три участка, на каждом из которых кривая заменяется прямой. Таким образом, кривая аппроксимируется ломаной линией. На каждом ее участке имеется свой линейный коэффициент. Очевидно, что этот частный коэффициент нельзя вводить изменением величины M_2 , которая является общей для всех скоростей, так как нарушится предыдущая регулировка "Масштабирование".

Поэтому на отдельных участках изменение коэффициента масштаба m производится путем введения дополнительной частоты $\Delta f \propto \Delta V$, которая складывается с частотой заполнения импульса $\tau_1 \propto V$. На каждом участке Δf определяется величиной изменения поправки, которая автоматически вводится корректором в показания скорости.

5.2. Методика регулировки лага ИЭЛ-2М на мерной линии

Перед выходом на мерную линию необходимо выполнить все проверки и регулировки, изложенные в предыдущей главе. В результате этого исключается постоянная поправка.

К мерному полигону предъявляются определенные требования. Длина мерной линии должна быть такой, чтобы обеспечить требуемую точность определения поправок лага. При скоростях до 12 узлов длина пробегов должна быть не менее одной мили, а при более высоких скоростях — не менее двух миль. Глубина в районе должна быть достаточной,

чтобы исключить влияние мелководья на точность измерения скорости. Желательно также, чтобы течение в районе не менялось или его изменения были бы незначительными. Волнение моря не должно превышать 3-х баллов, так как это сказывается на показаниях лага (см. 4.3).

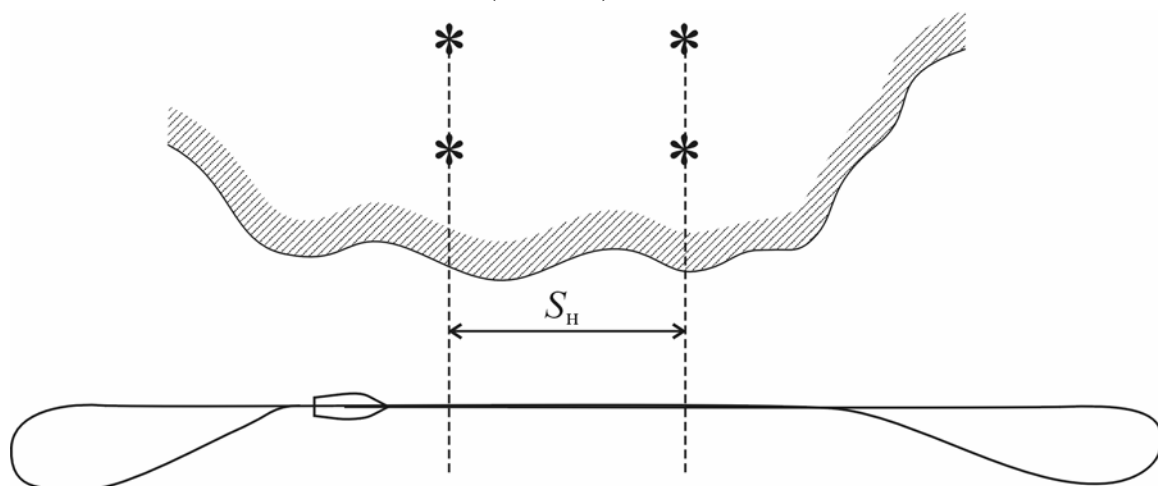


Рис. 5.4

Калибровку лага можно выполнять не только на мерной линии, но использовать для этого РЛС или высокоточные обсервации. Цель калибровки – выявление систематических погрешностей в измерении скорости для их последующей компенсации. При этом одновременно определяются истинная и лаговая скорости на маневрировании судна между двумя пунктами, координаты которых известны с высокой точностью. На рис. 5.4 показано маневрирование судна между двумя секущими створами. Определение поправок лага производится на трех режимах скоростей: "Малый ход", "Средний ход", "Полный ход". Количество пробегов выбирается исходя из характера течения в полигоне. Как правило, на каждом режиме делается три пробега. Это позволяет исключить случайные погрешности. При этом одновременно измеряются истинная $V_{и}$ и лаговая $V_{л}$ скорости. В момент пересечения переднего створа наблюдатель на мостике запускает секундомер, а в момент пересечения второго – останавливает его. Таким образом, измерено время $t_{и}$, за которое судно проходит истинное расстояние $S_{и}$. Истинные скорости на пробегах рассчитываются по формуле:

$$V_{и} = \frac{3600 \cdot S_{и}}{t_{и}} . \quad (1.2)$$

При осреднении скорости на трех пробегах исключается влияние течения:

$$V_{\text{ср}} = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3}{4}, \quad (1.3)$$

где V_1, V_2, V_3 – истинные скорости на пробегах.

Одновременно на каждом пробеге определяется лаговая скорость. После пересечения переднего створа наблюдатель у прибора 6 замечает отсчет $S_{\text{н}}$ по счетчику лага и запускает секундомер, а через 1 или 2 мили, в зависимости от длины пробега, при отсчете лага $S_{\text{к}}$ останавливает секундомер. Измерено время $t_{\text{л}}$, за которое пройдено расстояние $S_{\text{к}} - S_{\text{н}}$. После чего рассчитывают скорость по лагу на пробегах $V_{\text{л}}$ и на режиме $V_{\text{л ср}}$ по формулам:

$$V_{\text{л}} = \frac{3600 \cdot (S_{\text{к}} - S_{\text{н}})}{t_{\text{л}}}, \quad (1.4)$$

$$V_{\text{л ср}} = \frac{V_{\text{л1}} + 2V_{\text{л2}} + V_3}{4}. \quad (1.5)$$

Расчет поправки на режиме производится по формуле

$$\Delta V = V_{\text{иср}} - V_{\text{л ср}}. \quad (1.6)$$

Исходя из того, что вначале устраняется линейная часть погрешности, измерения начинают с режима "Полный ход". После этого по формуле (5.1) рассчитывают новый коэффициент масштаба M_2 и, записав его на матовом стекле прибора 6, вводят в схему лага. Затем определяют поправки еще на двух режимах: малого (МХ) и среднего (СХ) ходов. Пусть в результате испытаний лага на мерной линии получены следующие поправки на режимах (рис. 5.5).

Скорость, уз	Поправка, уз
Малый ход (МХ) $V_1 = 5,5$	$\Delta V_1 = + 0,5$
Средний ход (СХ) $V_2 = 11,6$	$\Delta V_2 = + 0,65$
Полный ход (ПХ) $V_3 = 16,7$	$\Delta V_3 = 0$

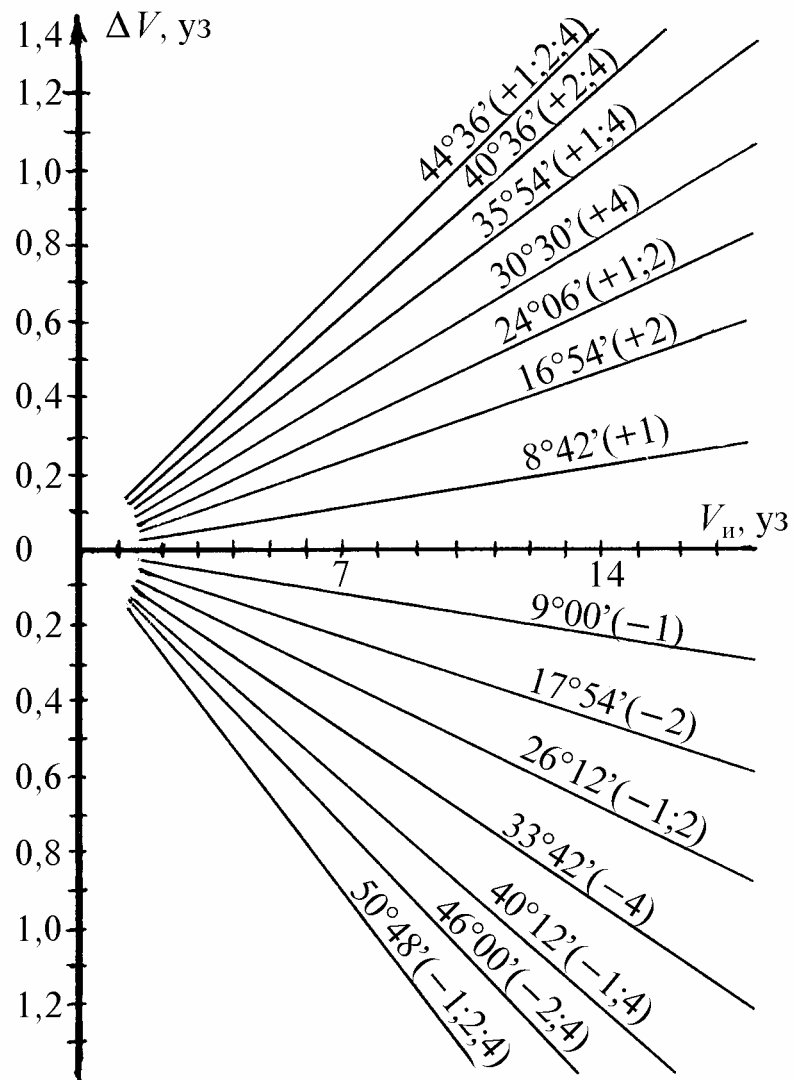


Рис. 5.6

Рис. 5.7

Пользуясь трафаретом (рис. 5.6), который имеется в ЗИПе, на графике строят регулировочную ломанную линию, которая наиболее близко повторяет кривую поправок, но при этом удовлетворяет определенным требованиям. Линия должна иметь не более трех участков, каждый из которых начинается и кончается на целом количестве узлов $V_{из}$.

поскольку так построена схема корректора. Первая прямая начинается не с нуля, а со значения $V_{и} = 1$ уз, так как электронная схема воспринимает "нуль" как отсутствие информации. Каждый из участков имеет фиксированный наклон, задаваемый трафаретом.

Для приведенного примера, наложив трафарет на график (рис. 5.5), определили, что в рассматриваемом случае первому участку соответствует луч

трафарета с наклоном $+44^{\circ}36'$ и средневзвешенными коэффициентами $+(1; 2; 4)$. Другие лучи не годятся, так как проходят на большом расстоянии от точки А.

После того как линия 1-го участка нанесена на миллиметровку, коммутационные переключки с помощью технологической панели вставляют в гнезда корректора, соответствующие данному участку. Панель (рис. 5.7) представляет собой линейку, на которой отмечены зоны, узлы, участки и коэффициенты. Зона 1 используется, когда полный ход судна составляет менее 17 узлов, а зона 2 – когда полный ход судна более 17 узлов. В приведенном примере переключка "Зоны" должна стоять в положении 1, переключка "Узлы" – в положении 1, а четыре переключки "Коэффициенты" – в гнездах "+", 1, 2, 4 первого участка (нижняя часть панели).

Затем проверяют работу корректора на участке 1, подключив тарировочный прибор к гнездам "Имитатор" прибора 6. Переключатель 1 (рис. 4.1) должен быть установлен в положении 5. При включенном корректоре потенциометром тарировочного прибора устанавливают отсчет скорости, соответствующий значению $V_{л}$ малого хода: $V_{л} = V_{и} - \Delta V = 5,5 - 0,5$ уз. После включения корректора на табло должно установиться значение $V_{и} = 5,5 \pm 0,1$ уз. Если отсчет не входит в данные пределы, то выбирают по трафарету другой наклон участка 1, устанавливают другие переключки коэффициентов и повторяют операцию контроля.

При отсутствии тарировочного прибора проверку правильности ввода данных в корректор выполняют в режиме работы лага "Ручной ввод".

Аналогично определяют установочные данные для остальных участков. В приведенном примере (рис. 5.5) участку 2 соответствует линия трафарета с наклоном $30^{\circ}30'$ и весовым коэффициентом $+4$. Начало участка (А) соответствует целому значению истинной скорости $V_{и} = 6$ уз. В корректоре, в разделе "Узлы" устанавливают переключку в положение 6, во втором участке "Коэффициенты" – в гнездо "+" и в гнездо 4. После этого необходимо проверить правильность установки переключек участка 2 с помощью тарировочного прибора. При выключенном корректоре устанавливают отсчет скорости

$V_{л} = V_{и} - \Delta V = 11,6 - 0,65 \pm 11$ уз. После включения корректора отсчет должен стать $V_{и} = 11,6 \pm 0,1$ уз. При необходимости уточняют данные для участка 2 также, как и для участка 1.

Начало участка 3 обозначается установкой перемычки в положение 11 в разделе "Узлы". Этому участку соответствует луч трафарета, имеющий наклон $50^{\circ}48'$ вниз и отрицательные весовые коэффициенты $-(1; 2; 4)$.

В эти положения и устанавливаются перемычки на участке 3. Схема корректора учитывает коэффициенты отрицательными, поэтому в гнезде "+" перемычка отсутствует. Правильность ввода поправки проверяется с помощью имитатора так же, как и в двух предыдущих случаях. Поправка на полном ходу равняется нулю, поэтому показания лага при включенном и выключенном корректоре должны отличаться не более чем на 0,1 уз. При большем отличии необходимо выбрать другой луч трафарета и провести соответствующую установку перемычек.

Заканчивается участок 3 16-ю узлами, в это положение и устанавливается последняя перемычка в разделе "Узлы".

Отсчет 16 здесь выбран потому, что в положении 17 остаточная погрешность будет больше.

На ходу судна более 16 узлов поправка корректором вводиться не будет.

На этом составление программы корректора заканчивается.

Из рис. 5.5 видно, что регулировочная кривая 1-А'-В'-С', установленная в корректор, не соответствует кривой погрешностей 0-А-В-С. В связи с этим в отсчете скорости наблюдается погрешность. Ее величину для любой скорости можно определить, если из соответствующей точки оси $V_{и}$ провести вертикальную линию до пересечения с обеими кривыми. Качество регулировки лага определяется на контрольных пробегах. В соответствии с РШС-89 поправка лага должна определяться на мерной линии с точностью до $\bullet 0,5\%$ на основных скоростях судна.

Из вышесказанного вытекает следующая методика регулировки лага ИЭЛ-2М на мерной линии:

1. Определить истинную $V_{и}$ и лаговую $V_{л}$ скорости на полном ходу, рассчитать поправку лага, пользуясь формулами (5.2)-(5.6).
2. Рассчитать новый коэффициент масштаба M_2 по формуле (5.1) и выполнить операцию масштабирования, после которой ΔV на полном ходу принимается равной нулю.
3. Определить поправки лага на малом и среднем ходах, построить график (рис. 5.5).
4. Определить установочные данные и ввести их в корректор.
5. Выполнить контрольные пробеги и определить остаточные погрешности лага. Контрольные пробеги и расчет остаточных погрешностей выполняются по той же методике, что и основные. Если полученные поправки превышают установленную величину, то производят дополнительную регулировку.

Ниже приведены несколько вариантов испытаний лагов ИЭЛ-2М на мерной линии, которые предлагается обработать с целью закрепления материала, изученного в данной главе.

Вариант 1

Режим хода	Длина пробега, мили	РОЛ $S_k - S_n$, мили	t_n , мин, с	t_l , мин, с	M_1
ПХ	2.00	2.00	7 мин 16 с	7 мин 47 с	73,8
			7 мин 36 с	7 мин 56 с	
			7 мин 23 с	7 мин 38 с	
МХ	1.00	1.00	11 мин 12 с	11 мин 31 с	
			11 мин 43 с	11 мин 59 с	
			10 мин 41 с	11 мин 19 с	
СХ	2.00	2.00	11 мин 25 с	10 мин 57 с	
			10 мин 29 с	10 мин 07 с	
			11 мин 02 с	10 мин 38 с	

Вариант 2

Режим хода	Длина пробега, мили	РОЛ $S_k - S_n$, мили	t_n , мин, с	t_l , мин, с	M_1
ПХ	3.00	3.00	7 мин 22 с	8 мин 01 с	72,2
			7 мин 58 с	8 мин 26 с	
			7 мин 47 с	7 мин 54 с	
МХ	1.00	1.00	9 мин 43 с	11 мин 04 с	
			10 мин 39 с	11 мин 29 с	
			9 мин 30 с	10 мин 24 с	
СХ	2.00	1.00	8 мин 55 с	9 мин 09 с	
			9 мин 21 с	9 мин 30 с	
			9 мин 03 с	9 мин 25 с	

Вариант 3

Режим хода	Длина пробега, мили	РОЛ $S_k - S_n$, мили	t_n , мин,с	t_l , мин,с	M_1
ПХ	2.00	2.00	6 мин 25 с	6 мин 09 с	75,6
			6 мин 17 с	6 мин 11 с	
			6 мин 42 с	6 мин 15 с	
МХ	1.00	1.00	12 мин 15 с	11 мин 19 с	
			10 мин 21 с	9 мин 40 с	
			11 мин 46 с	10 мин 43 с	

СХ	2.00	1.00	9 мин 18 с 9 мин 54 с 9 мин 27 с	8 мин 57 с 9 мин 56 с 9 мин 14 с	
----	------	------	--	--	--

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов В.В., Перфильев В.К., Яловенко А.В. Технические средства судовождения. Конструкция и эксплуатация.– М.: Транспорт, 1988.– 336 с.
2. Воронов В.В., Филипченко В.Г., Яловенко А.В. Индукционный лаг ИЭЛ-2М.– М.: В/О "Мортехинформреклама", 1984.– 40 с.
3. Кораблев А.В., Массаров В.Ф. Электромагнитные навигационные системы и приборы.– Л.: ВМОЛУА, 1976.– 140 с.
4. Саранчин А.И., Петрунин Е.В., Коростелев В.В., Пасешниченко В.Н. Навигационные приборы и системы.– Владивосток: ТОВВМУ, 1987.– 220 с.
5. Смирнов Е.Л., Яловенко А.В., Якушенков А.А. Технические средства судовождения. Теория.– М.: Транспорт, 1988.– 376 с.
6. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин. Методы измерений.– Л.: Энергоатомиздат, 1987.– 320 с.
7. Физика микромира. Маленькая энциклопедия.//Под общей редакцией Д.В. Ширкова.– М.: Советская энциклопедия, 1980.– 528 с.
8. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Милковская Л.Б. Курс физики. Т. 2. Электричество и магнетизм.– М.: Высшая школа, 1966.– 412 с.