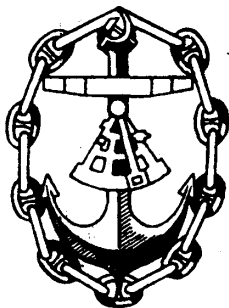


Н. В. Авербах, Ю. К. Баранов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МАНЕВРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
МОРСКОГО СУДНА
И ПОПРАВКИ ЛАГА**



Издательство
МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ
Москва-1962

Н В АВЕРБАХ, Ю К БАРАНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МАНЕВРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
МОРСКОГО СУДНА
И ПОПРАВКИ ЛАГА

*Издание второе,
переработанное и дополненное*

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ»
ЛЕНИНГРАД 1962

В брошюре излагаются способы определения и проверки основных маневренных элементов морских судов и поправки лага на мерной линии, с помощью радиолокатора и других радиотехнических средств и на переходе морем различными навигационными способами.

Брошюра предназначена для судоводителей морского флота.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В открытом море учет движения судна осуществляется путем графического счисления — прокладки. Несмотря на большое развитие радиотехнических средств судовождения и совершенствование методов мореходной астрономии, прокладка до сих пор является основой судовождения вдали от берегов, особенно при наличии плохой видимости. Не утратит своего значения прокладка и при появлении на судах счетно-решающих вычислительных машин. Только в этом случае она будет вестись не штурманом, а автоматически, прибором.

Для ведения прокладки с высокой точностью судоводитель должен знать маневренные элементы своего судна и поправку лага. Маневренные элементы судна имеют большое значение также при плавании в узкостях, при постановке на якорь, при буксировке, при швартовке.

Недостаточно точное знание маневренных элементов судов и поправки лага может привести и действительно приводило на практике к тяжелым авариям. Поэтому судоводитель должен стремиться в кратчайший срок изучить маневренные элементы своего судна и определить поправку лага, пользуясь в дальнейшем любой возможностью для ее проверки.

В настоящей брошюре описываются способы определения и проверки основных маневренных элементов судов морского флота и поправки лага на мерной линии, с помощью радиолокатора и на переходе морем различными способами. Вопросы использования маневренных элементов и поправки лага в брошюре не излагаются, так как они достаточно полно освещены в учебниках и пособиях по навигации.

Авторы выражают благодарность капитанам дальнего плавания А. Г. Гамову и В. А. Вексману за ценные указания, сделанные при подготовке рукописи к изданию.

ПОНЯТИЕ ОБ ОСНОВНЫХ МАНЕВРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Основными маневренными элементами судна являются такие его качества, которые характеризуют способность судна развивать и сохранять тот или иной режим движения и изменять один режим движения на другой.

К маневренным элементам судна относятся:

1) *ходкость* — способность судна двигаться в заданном направлении с заданной скоростью;

2) *поворотливость* — способность судна изменять направление своего движения под действием руля;

3) *инерция* — способность судна сохранять прежнее состояние движения после изменения режима работы машины.

Различают следующие скорости хода: наибольшую, экономическую и наименьшую.

Наибольшей скоростью судна называется та наивысшая скорость, которую может развивать (и достаточно долго сохранять) данное судно в полном грузу.

Экономической скоростью хода называется такая скорость судна, при которой расход топлива на одну пройденную милю будет наименьшим, т. е. при которой судно с имеющимся запасом топлива может пройти наибольшее расстояние.

Наименьшей скоростью судна называется такая минимальная скорость хода, при которой данное судно продолжает еще слушаться руля, т. е. может держаться на курсе при нормальной работе машин.

Поворотливость судна характеризуется теми криволинейными траекториями (циркуляциями), которые описывает центр тяжести судна при различных положениях руля и различных скоростях хода.

Инерция судна определяется тем расстоянием, которое проходит судно с момента подачи команды об изменении режима работы его двигателей до момента приоб-

речения скорости, соответствующей новому режиму, и временем, необходимым на приобретение новой скорости.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕРНЫХ ЛИНИЯХ

Определение скорости судна и поправки лага производится, как правило, на специально оборудованном полигоне, называемом мерной линией. Оборудование мерной линии состоит из ведущего створа и нескольких се-

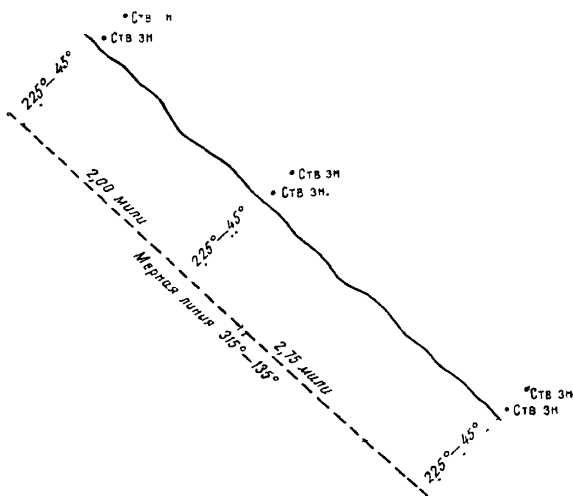


Рис. 1

кущих створов, перпендикулярных к линии пробега. Иногда ведущий створ отсутствует и заменяется рядом буев, выставленных в направлении линии пробега судна на секущих створах. Расстояние между секущими створами точно известно и указывается на карте, в лоции и в специальном описании мерной линии. Условное изображение мерных линий на навигационных картах приведено на рис. 1 и 2.

Ограждение мерных линий производится так же, как осей фарватеров и рекомендованных курсов (рис. 3).

К району оборудования мерной линии предъявляются следующие требования:

1. Глубины в районе мерной линии должны быть до-

статочны большими, чтобы исключить возможность влияния мелководья на определяемую скорость хода (см. табл. 2).

2. Линия пробегов должна проходить на расстоянии 1,5—2 миль от малых глубин или берега, вблизи которого имеются подводные опасности.

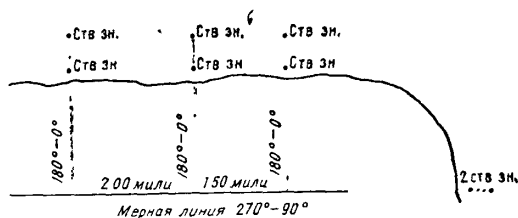


Рис. 2

3. На продолжении линии пробега в обе стороны от мерной линии должно быть достаточное пространство (по 2—3 мили) для поворотов судов и для развития требуемой скорости хода. Общая длина мерной линии должна быть порядка 6—10 миль.



Рис. 3

4. Район мерной линии должен быть по возможности защищен от ветра и волнения, так как эти факторы могут понизить точность определения скорости хода судов.

5. Течение должно отсутствовать или же быть слабым и постоянным, совпадающим по возможности с линией пробегов.

6. Для определения скорости хода с достаточной точностью длина пробега должна быть порядка 1—2 миль для скорости до 18 узлов и порядка 2—3 миль для скорости более 18 узлов.

Увеличение длины пробега на мерной линии нецелесообразно, так как это приведет к увеличению продолжительности испытаний и вместо повышения точности результатов может вызвать их понижение ввиду неизбежной изменяемости течения.

При наличии промежуточных секущих створов рекомендуется замечать моменты их пересечения для контроля, независимо от длины пробега.

Для определения маневренных элементов при помощи радиолокатора мерная линия оборудуется одним или несколькими пассивными отражателями, установленными на берегу в непосредственной близости от береговой черты или на воде (радиолокационные буи).

Подробные сведения о мерных линиях указываются в лоциях и в специальных описаниях мерных линий.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ СУДНА

Определение скорости судна должно производиться при благоприятных внешних факторах (ветре не выше 3 баллов, волнении не выше 1—2 баллов, отсутствии течения, мелководья и т. д.). Следует также иметь в виду, что на скорость судна влияет обрастание и изменение состояния судна (изменение осадки, дифферента, крена и т. д.).

Рассмотрим кратко влияние основных факторов на скорость судна.

1. Влияние изменения осадки судна

Установлено, что изменение осадки, а тем самым и водоизмещения судна влияет на его скорость сравнительно незначительно. По данным инженера-механика Афанасьева, изменение водоизмещения на 5% вызывает в среднем изменение скорости на 1%. Увеличение водоизмещения на 10% вызывает уменьшение скорости хода на 2—3%. При сравнительно небольшом недогрузе судно может увеличить скорость хода на 1—2%. Если же судно имеет большой недогруз или следует в балласте, то при сильном волнении моря скорость его может быть даже меньше, чем в грузу, из-за уменьшения эффективности работы винтов.

Зависимость скорости хода от изменения водоизмещения проще всего установить практически путем проведения ходовых испытаний судна на мерной линии при различных состояниях его загрузки (в полном грузу, в балласте и при некоторой средней загрузке). Однако такую всестороннюю проверку не всегда возможно сделать.

2. Влияние обрастания корпуса судна

Обрастание подводной части корпуса судна повышает его шероховатость, увеличивает трение судна о воду, что вызывает уменьшение скорости хода при одинаковом числе оборотов винтов. По данным Балтийского государственного морского пароходства, опубликованным перед Великой Отечественной войной, потери скорости хода транспортными судами от обрастания за год составляют 8—11%. На Черном море для судна со скоростью хода в 26 узлов потеря скорости от обрастания через месяц после докования составляла 3,7%, через 4 месяца — 13%, через 10—12 месяцев — 16%. Значительное обрастание может вызвать уменьшение скорости хода до 25—30% и даже до 50%. Наиболее существенные относительные потери скорости происходят при малых и средних скоростях судна. Уменьшение скорости хода судов приводит к значительным убыткам.

Например, по данным, опубликованным в США (1929 г.), убыток от обрастания по торговому флоту США ежегодно составляет не менее 100 млн. долларов. Уменьшение скорости хода из-за обрастания приводит к увеличению расхода топлива на 40% и времени доставки груза на 50%.

Для определения влияния обрастания на скорость судна необходимо периодически (сразу после докования и через некоторое время) определять скорость хода на мерной линии. Определение скорости хода должно быть сделано при одних и тех же оборотах винтов и, примерно при одном и том же водоизмещении. Установив потери скорости хода от обрастания для данного числа оборотов винтов, строят график зависимости потери скорости от времени, прошедшего после докования (рис. 4), который может быть использован для определения скорости судна при плавании без лага.

Можно установить зависимость изменения скорости хода не только от времени обрастания, но и от толщины слоя ракушки на подводной части корпуса судна, если в дни испытаний провести замеры этого слоя. Измерение толщины слоя ракушки следует производить в такой части корпуса, где он не может быть поврежден волной или плавающими предметами. Так как при замере слой может быть поврежден, то каждый следующий замер

должен производиться в стороне от предыдущего, но так близко от него, чтобы условия обрастания были практически одинаковы.

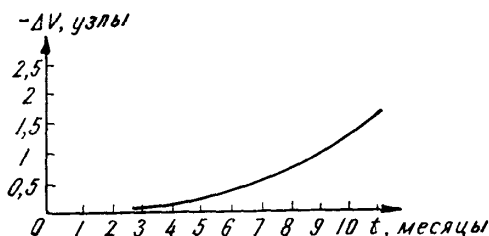


Рис. 4

Зависимость изменения скорости хода судна от толщины слоя ракушки может быть представлена табл. 1.

Таблица 1

Ход судна до обрастания, узлы	Толщина слоя ракушки в районе шпангоута		
	2,0 см	3,0 см	4,0 см
18	17,0	16,5	16,0
13,5	13,0	12,8	12,5
9	8,5	8,3	8,2

Способ учета влияния обрастания на скорость хода судна измерением толщины слоя ракушки является более точным, так как в конечном счете скорость хода зависит не от времени обрастания, а от интенсивности обрастания.

Интенсивность обрастания зависит от географических, гидрологических и биологических факторов, а также от типа судна и режима его использования.

3. Влияние крена

При наличии крена давление воды в носовой части движущегося судна будет меньше со стороны повышенного борта. Поэтому судно, имеющее крен, будет ували-

ваться в сторону повышенного борта. Для удержания судна на курсе приходится держать руль переложенным в сторону пониженного борта. При этом тормозящее влияние руля вызывает уменьшение скорости хода. Потери скорости при значительном крене могут достигать 10—15%. Поэтому при определении скорости хода на мерной линии судно не должно иметь крена.

4. Влияние дифферента

Скорость судна, показанная им на ходовых испытаниях при данном числе оборотов гребных винтов, может измениться при появлении у него дифферента.

Незначительный дифферент на корму практически на скорость судна не влияет. У некоторых судов при отсутствии ветра дифферент вызывает даже увеличение скорости хода.

Однако при значительном дифференте на корму скорость судна уменьшается из-за уменьшения эффективности действия винтов (уменьшается горизонтальная составляющая упора винта). Кроме того, при таком дифференте нос судна стремится уваливаться под ветер.

Для удержания судна на курсе руль приходится держать переложенным преимущественно на один борт. При этом руль оказывает тормозящее влияние на движение судна, в результате чего его скорость уменьшается.

Дифферент на нос оказывает более значительное влияние на уменьшение скорости хода. Даже небольшой дифферент судна на нос вызывает значительное уменьшение его скорости из-за того, что увеличивается лобовое сопротивление движению судна и уменьшается эффективность действия винтов. Кроме того, тормозящее влияние оказывает руль, который в этом случае приходится держать переложенным преимущественно на один борт для удержания судна на курсе, с которого оно сбивается из-за того, что корма уваливается под ветер. Поэтому при скоростных испытаниях судно не должно иметь дифферента.

5. Влияние рыскания

В результате рыскания судно проходит во время пробега больший путь, чем истинное расстояние, так как движется не по прямой линии. Однако удлинение пути из-за

рыскания практически не скажется на величине определяемой скорости, если рыскание не будет превышать $\pm 2^\circ$.

При скоростных испытаниях нужно стремиться к тому, чтобы рыскание было минимальным, так как при рыскании для удержания судна на заданном курсе руль переключается чаще обычного, а это снижает скорость и, следовательно, вносит ошибку в результаты испытаний.

6. Влияние изменения числа работающих винтов

В отдельных случаях плавания судам, имеющим несколько винтов, приходится работать только одной машиной. Опытным путем установлено, что если у двухвинтового судна работает только один винт, то скорость уменьшается примерно на 20%.

Трехвинтовое судно с одним работающим винтом будет иметь скорость примерно на 30% меньше, чем при работе всех винтов.

7. Влияние мелководья

При плавании на мелководье скорость судна обычно падает (при одном и том же числе оборотов гребных винтов) и в некоторых случаях может уменьшаться на 10—15%. Это явление объясняется особенностями волнообразования, вызванного движением судна на малых глубинах.

На мелководье появляется добавочное сопротивление движению судна вследствие увеличения волнового сопротивления и скорости встречного потока, что и приводит к потере скорости хода судна.

По данным проф. Г. Е. Павленко, глубина моря, не влияющая на скорость хода судна, может быть определена по формуле

$$h = 3 \frac{V^2}{g} + 4T, \quad (1)$$

где h — глубина, м;
 V — скорость хода, м/сек;
 g — ускорение силы тяжести, м/сек²;
 T — осадка судна, м.

Минимальные глубины, не влияющие на скорость хода судна приведены в табл. 2, составленной на основе экспериментальных материалов советских и иностранных опытовых бассейнов.

Таблица 2

Скорость хода судна, узлы	Осадка судна, м							
	3	4	5	6	7	8	9	10
10	10	20	30	40	50	60	70	80
15	20	30	40	50	65	75	90	105
20	35	45	55	70	80	95	115	125
25	50	65	75	90	100	115	135	150

ИСКЛЮЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕЧЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТИ ХОДА СУДНА И ПОПРАВКИ ЛАГА НА МЕРНОЙ ЛИНИИ

Выше было указано, что в районе мерной линии течение должно отсутствовать. Однако это требование для большинства мерных линий не может быть выполнено, так как в этих районах часто существуют неизвестные судоводителю слабые течения, оказывающие в то же время влияние на точность определения скорости хода судна. Поэтому при проведении скоростных испытаний действие течения должно быть исключено. Исключение действия течения производится путем определения скорости судна не на одном, а на нескольких пробегах, число которых определяется характером течения.

Рассмотрим несколько возможных случаев.

1. Скорость течения постоянна

Для исключения влияния течения в этом случае достаточно определить скорость судна на двух пробегах: прямом и обратном. На прямом пробеге скорость судна при попутном течении¹ определяется как $V_1 = V + v_T$. На обратном пробеге скорость судна равна $V_2 = V - v_T$.

¹ Если направление течения не совпадает с линией пробега, то v_T есть составляющая вектора скорости течения по направлению пробега.

Тогда

$$V = \frac{v_1 + v_2}{2}, \quad (2)$$

где V — скорость хода судна, развиваемая двигателями.
Поправку лага можно рассчитать по формуле

$$\Delta L = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{2}, \quad (3)$$

где ΔL_1 и ΔL_2 — поправки лага, определенные соответственно на прямом и обратном пробегах. Они могут быть найдены по формуле

$$\Delta L \% = \frac{S - \text{пол}}{\text{пол}} \cdot 100, \quad (4)$$

где S — истинное расстояние, пройденное судном;
 пол — разность отсчетов лага, замеченных в начале и конце пробега ($ол_2 - ол_1$).

Поправка лага на пробеге может быть также вычислена по формуле

$$\Delta L \% = \frac{V - V'_{L_t}}{V'_{L_t}} \cdot 100, \quad (5)$$

где V — скорость судна, рассчитанная по формуле (2);
 V'_{L_t} — скорость судна на пробеге, вычисленная по лагу без учета его поправки, т. е. разность отсчетов лага за один час плавания ($V'_{L_t} = \frac{3600 \cdot \text{пол}}{t_{\text{сек}}}$, где t — время пробега, сек).

Одновременно можно рассчитать и коэффициент лага

$$k_{L_t} = \frac{S}{\text{пол}} \quad (6)$$

Переход от поправки лага к коэффициенту лага и обратно осуществляется по формулам

$$k_{L_t} = 1 + \frac{\Delta L \%}{100}, \quad (7)$$

$$\Delta L \% = (k_{L_t} - 1) \cdot 100 \quad (8)$$

Пользование коэффициентом лага удобно для определения пройденного судном расстояния с помощью логарифмической линейки.

2. Скорость течения изменяется равномерно

Для исключения влияния течения необходимо определить скорость судна на трех пробегах. Наблюдаемые скорости соответственно

на первом пробеге $V_1 = V + v_T$;

на втором пробеге $V_2 = V - v_{T_2}$;

на третьем пробеге $V_3 = V + v_{T_1}$.

Принимая $v_{T_2} = \frac{v_{T_1} + v_{T_3}}{2}$, получим

$$V = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3}{4} . \quad (9)$$

Для исключения влияния течения на поправку лага ее нужно вычислять по формуле

$$\Delta L = \frac{\Delta L_1 + 2\Delta L_2 + \Delta L_3}{4} . \quad (10)$$

3. Скорость течения изменяется неравномерно

Для исключения влияния течения в этом случае необходимо определить скорость хода судна на четырех пробегах.

Скорость хода при этом рассчитывается по формуле

$$V = \frac{V_1 + 3V_2 + 3V_3 + V_4}{8} , \quad (11)$$

а поправка лага по формуле

$$\Delta L = \frac{\Delta L_1 + 3\Delta L_2 + 3\Delta L_3 + \Delta L_4}{8} , \quad (12)$$

Если направление течения на мерной линии близко совпадает с линией пробега, то рулевой может править по ведущему створу так же, как и при отсутствии течения.

При действии бокового течения следует править не по ведущему створу, а по компасу, удерживая судно на курсе, перпендикулярном к текущим створам.

Поправка компаса должна быть известна и учитываться при расчете курса пробега. Постоянная ошибка в

поправке компаса до 2—3° практически не скажется на точности определяемой скорости хода и поправки лага.

Однако полностью исключить даже равномерно изменяющееся течение путем увеличения числа пробегов невозможно. Это объясняется тем, что, образуя средние скорости хода судна из наблюдаемых при трех и более пробегах, принимают приращение скорости течения за постоянную величину. На самом деле она будет постоянной только при одинаковых промежутках времени между средними моментами двух следующих один за другим пробегов. А так как эти промежутки будут неодинаковы, то в определенных средних скоростях хода судна будет ошибка за счет остаточного влияния скорости течения, которая с увеличением числа пробегов уменьшается.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ХОДА И ПОПРАВКИ ЛАГА НА МЕРНОЙ ЛИНИИ

Перед выходом судна на мерную линию необходимо составить план работ, познакомить с ним всех наблюдателей, участвующих в испытаниях, заготовить необходимые схемы для записей и проверить секундомеры.

Для проведения скоростных испытаний нужно иметь на мостике не менее трех наблюдателей, снабженных биноклями, секундомерами и схемами для записи, наблюдателя в штурманской рубке и наблюдателя в машинном отделении. Секундомеры должны быть хорошего качества с постоянным ходом и точностью отсчета не менее 0,5 сек.

Руководителем работ должен быть назначен один из наиболее опытных штурманов.

В задачу наблюдателей входит следить за пересечением судном секущих створов и замечать моменты времени по секундомеру. Наблюдение за створами должно вестись в бинокль каждым наблюдателем, который не должен менять своего места, причем наблюдатели должны замечать пересечение створов самостоятельно.

Скоростные испытания необходимо проводить для трех скоростей хода: полного, среднего и малого, причем испытания целесообразно начинать с большей скорости. Загрузка судна должна быть нормальной (в полном грузу или в балласте).

Развив необходимую скорость (что проверяется по лагу), судно ложится на линию пробега, и руководитель работ подает команду: «Приготовиться к работе на пер-

вом пробеге». По этой команде все наблюдатели занимают свои места.

При подходе к створу подается предварительная команда «товсь». По этой команде наблюдатели на мостике начинают внимательно следить за створом, наблюдатель в рубке — за счетчиком лага, наблюдатель в машинном отделении — за суммарным счетчиком оборотов (или измеряет число оборотов винтов по тахометрам, снимая отсчеты через 1—2 мин).

В момент пересечения первого секущего створа руководитель работ подает команду «ноль» и пускает секундомер. По этой команде наблюдатель в рубке записывает отсчет лага¹ ($ол_1$) и судовое время, наблюдатель в машине — показания суммарного счетчика оборотов (или тахометра). Остальные наблюдатели на мостике самостоятельно замечают пересечение створа в бинокль и в этот момент пускают секундомеры.

При подходе ко второму секущему створу подается команда «товсь» и в момент пересечения — «ноль»

По этой команде руководитель работ стопорит секундомер (остальные наблюдатели стопорят секундомеры самостоятельно). Снова записывается отсчет лага ($ол_2$) и показания суммарного счетчика оборотов.

После пересечения второго секущего створа судно сразу же отворачивает в сторону моря на угол 10—15° и отходит этим курсом на 2—3 мили, затем совершает поворот на обратный курс, описывая пологую циркуляцию (рис 5).

Курс отхода от створа, время лежания на нем и диаметр циркуляции должны быть рассчитаны заранее, чтобы после поворота на обратный курс судно оказалось на линии пробега, а до ближайшего секущего створа оставалось расстояние, достаточное для развития потерянной на повороте скорости.

Расстояние по курсу отхода $S_{ко}$ можно подсчитать по формуле

$$S_{ко} = \frac{D_{ц}}{\sin \alpha} \quad (13)$$

где $D_{ц}$ — тактический диаметр циркуляции;
 α — угол отворота.

¹ Для увеличения точности определения поправки лага необходимо, если это возможно, снимать отсчет лага с точностью до 0,01.

Однако такой способ выхода на линию ведущего створа занимает много времени. Наблюдения за изменением скорости хода судна показывают, что после поворота судно успевает набрать прежнюю скорость за 2—3 мин. Поэтому, чтобы сократить время выхода на обратный курс, на курс отхода следует ложиться через 2—3 мин после пересечения конечного секущего створа, независимо от того, какое расстояние пройдет за это время судно.

Для ускорения самого поворота надо руль переключать на борт и давать на время поворота полный ход.

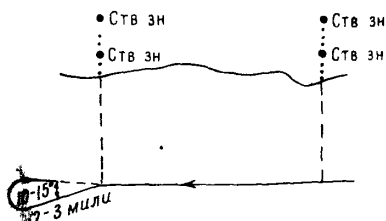


Рис. 5

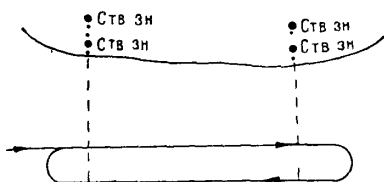


Рис. 6

За 20—30° до обратного курса ход сбавляется до нужного. За оставшиеся 2—3 мин (до подхода к первому секущему створу) судно приобретет необходимую скорость.

Требование пробега в обратном направлении точно по линии первого пробега вызывается предположением о различной скорости течения на линиях пробега. Однако мало вероятно, что на расстояниях в 3—6 кбт между линиями пробегов, чему обычно равны диаметры циркуляции судов, скорости течения различны. Кроме того, при выполнении поворота на обратный курс с применением курса отхода практически трудно выйти точно на ось мерной линии. Поэтому этот способ поворота можно рекомендовать при скоростных испытаниях на мерной линии, не имеющей ведущего створа.

В последнее время все чаще стал применяться способ поворота на обратный курс в одну сторону без выхода на ось мерной линии (рис. 6). Этот способ поворота является наиболее экономичным по времени. Однако его можно применять только в случае, если мерная линия

имеет достаточную ширину. При этом судно будет совершать движение параллельно оси мерной линии на расстоянии около диаметра циркуляции от нее.

После окончания поворота подается команда «Приготовиться к работе на втором пробеге», и все наблюдения проводятся в том же порядке, как и на первом пробеге.

Закончив работы на втором пробеге, проводят аналогичные наблюдения на третьем пробеге.

Затем по три пробега с соответствующими наблюдениями делают при остальных скоростях хода судна и приступают к обработке результатов наблюдения в следующем порядке:

1. Рассчитывают наблюденные скорости хода на каждом пробеге по формуле

$$V_i = \frac{3600 \cdot S}{t_{сек}}, \quad (14)$$

где S — длина пробега между секущими створами, мили;
 t — время пробега между секущими створами, сек.
(среднее из записей 3 наблюдателей).

Для ускорения расчетов выпускаются специальные таблицы для каждой мерной линии, из которых по времени выбирается сразу же скорость хода судна. Образец их приведен в табл. 3.

2. Рассчитывают среднюю скорость судна для данного режима работы машин, свободную от влияния течения по формуле (9).

3. Рассчитывают число оборотов винтов в минуту на каждом пробеге

$$N_i = \frac{n_2 - n_1}{t_{сек}} 60, \quad (15)$$

где n_1, n_2 — отсчеты суммарного счетчика оборотов винтов в момент пересечения первого и второго секущих створов.

Однако заметить отсчеты по суммарному счетчику оборотов в моменты пересечения створов вследствие большой скорости изменения отсчетов очень трудно. Поэтому на практике поступают так: после получения команды о пересечении начального створа наблюдатель у суммарного счетчика пускает секундомер в момент, когда появляется отсчет, кратный 100. Когда отсчет суммарного счетчика изменится на 100 или 200, секундомер

$$V = \frac{3600 \cdot 1,997}{t_{\text{сек}}}$$

Время	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6 ^м 00 ^с	19,97	19,91	19,86	19,80	19,75	19,70	19,64	19,59	19,54	19,48
10	19,43	19,38	19,33	19,27	19,22	19,17	19,12	19,07	19,02	18,97
20	18,92	18,87	18,82	18,77	18,72	18,67	18,62	18,58	18,53	18,48
30	18,43	18,39	18,34	18,29	18,25	18,20	18,15	18,11	18,06	18,02
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
12 ^м 00 ^с	9,98	9,97	9,96	9,94	9,93	9,92	9,90	9,89	9,98	9,86
10	9,85	9,82	9,82	9,81	9,79	9,78	9,77	9,75	9,74	9,73
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

останавливают. Такие наблюдения производятся до получения команды о пересечении конечного створа.

Расчет числа оборотов винтов в минуту на каждом пробеге производится по формулам

$$N_t = \frac{100 \cdot 60}{t'_{сек}} = \frac{6000}{t'_{сек}} \quad (16)$$

или

$$N_t = \frac{200 \cdot 60}{t''_{сек}} = \frac{12000}{t''_{сек}} \quad (17)$$

где $t'_{сек}$ — средний промежуток времени между моментами появления отсчетов, кратных 100,
 $t''_{сек}$ — средний промежуток времени между моментами появления отсчетов, кратных 200.

Если число оборотов винтов определяется по тахометру, то берут среднее из отсчетов тахометра за время плавания на пробеге

4 Рассчитывают среднее число оборотов винтов в минуту

$$N = \frac{N_1 + 2N_2 + N_3}{4}. \quad (18)$$

5 По величинам V и N вычерчивают график соответствия скорости хода и оборотов винтов (см. рис. 7). С помощью этого графика составляется таблица соответствия скорости хода и оборотов винтов

6 Рассчитывают величину поправки лага на каждом пробеге по формуле (4) или (5).

7 Рассчитывают среднюю величину поправки лага для каждой скорости по формуле (10)

8 По величинам Δt и V строят график зависимости поправки лага от скорости хода (см. рис. 8)

9. По наблюдениям механической части определяют мощность машин, расход топлива на 1 милю пути, расход топлива за 1 час хода, дальность и продолжительность плавания в зависимости от скорости хода.

Для контроля качества проведенных скоростных испытаний целесообразно вычертить график изменения скорости течения¹ во времени. В случае хорошего каче-

¹ Точнее, проекции вектора скорости течения на линию пробега.

ства наблюдений и равномерного изменения скорости течения график должен получиться в виде плавной кривой. Если кривая изменения скорости течения во времени не будет плавной, это будет свидетельствовать либо о промахах в наблюдениях или в расчетах, либо о том, что течение во время испытаний изменялось неравномерно.

Расчет скоростей течения и построение графика производится в следующем порядке:

1) рассчитывают «аванс» a , представляющий изменение скорости хода при изменении числа оборотов винтов на единицу

$$a = \frac{V}{N}; \quad (19)$$

2) рассчитывают отклонение числа оборотов винтов на каждом пробеге от среднего числа оборотов ΔN_i , соответствующего данной скорости хода

$$\left. \begin{aligned} \Delta N_1 &= N_1 - N, \\ \Delta N_2 &= N_2 - N, \\ \Delta N_3 &= N_3 - N, \end{aligned} \right\}; \quad (20)$$

3) рассчитывают отклонение скорости хода относительно воды на каждом пробеге от средней скорости хода $\Delta V'_i$

$$\left. \begin{aligned} \Delta V'_1 &= \Delta N_1 \cdot a, \\ \Delta V'_2 &= \Delta N_2 \cdot a, \\ \Delta V'_3 &= \Delta N_3 \cdot a \end{aligned} \right\}; \quad (21)$$

4) находят скорость относительно воды на каждом пробеге V'_i

$$\begin{aligned} V'_1 &= V + \Delta V'_1 = V + \Delta N_1 \cdot a, \\ V'_2 &= V + \Delta V'_2 = V + \Delta N_2 \cdot a, \\ V'_3 &= V + \Delta V'_3 = V + \Delta N_3 \cdot a \end{aligned} \quad ; \quad (22)$$

5) находят скорость течения на каждом пробеге $v_{Г_i}$, исходя из того, что наблюдаемая скорость хода судна на каждом пробеге представляет собой сумму скорости

судна относительно воды и скорости течения. Поэтому

$$\left. \begin{aligned} v_{\tau_1} &= V_1 - V'_1, \\ v_{\tau_2} &= V_2 - V'_2, \\ v_{\tau_3} &= V_3 - V'_3 \end{aligned} \right\} ; \quad (23)$$

6) строят график изменения скорости течения по времени.

Так как рассчитанные скорости течения являются средними за время соответствующих пробегов, при составлении графиков, скорости относят к средним моментам пробегов. Знаки средних скоростей течения при противоположных пробегах обычно различны. Это означает, что на одном пробеге течение было попутным, а на другом — встречным.

Если знак течения повторился на противоположном пробеге, то это свидетельствует об изменении направления проекции вектора скорости течения на линию пробега на обратное.

Все расчеты производятся в порядке и по схемам, применение которых видно на примере (стр. 25—28).

На основании полученных данных вычерчивается график соответствия скорости хода и оборотов винтов

Таблица 4

Скорость хода, узлы	Обороты винтов, об/мин
17	115
16	108
15	102
14	95
13	87
12	80
11	73
10	65
9	59
8	52
7	45
6	37
5	31
4	24

Таблица 5

Скорость хода, узлы	Δ л %	κ_A
17	—3,1	0,969
16	—2,7	0,973
15	—2,3	0,977
14	—1,9	0,981
13	—1,5	0,985
12	—1,0	0,990
11	—0,4	0,996
10	+0,2	1,002
9	+0,9	1,009
8	+1,7	1,017
7	+2,8	1,028
6	+3,9	1,039
5	+5,2	1,052
4	+7,0	1,070

(рис. 7), а также график изменения поправки лага от скорости хода (рис. 8). С помощью этих графиков составляются таблицы соответствия скорости хода оборотам винтов (табл. 4) и изменения поправки лага и коэффициента лага от скорости хода (табл. 5).

Наблюдения механической части сводятся в табл. Б.

Для контроля качества наблюдений составляется график изменения скорости течения в зависимости от времени (рис. 9). Так как кривая на графике не имеет изломов, то наблюдения были произведены хорошо и скорость течения за время пробегов изменялась равномерно.

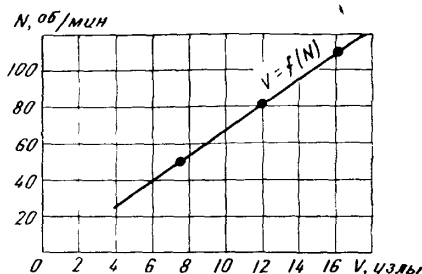


Рис. 7

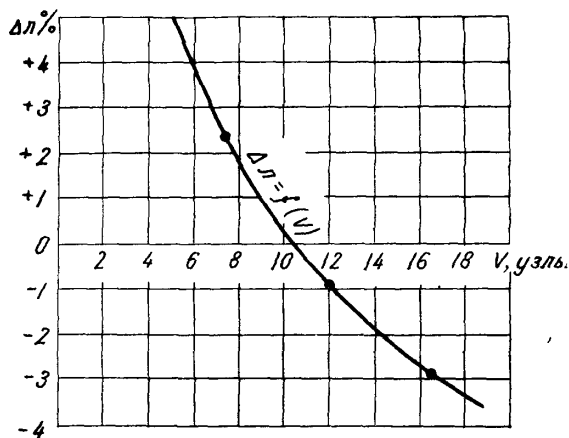


Рис. 8

Средняя квадратическая ошибка определения скорости хода на мерной линии при трех пробегах может быть подсчитана по формуле

$$m_V = \pm 0,612 \frac{V}{t} m_t \quad (24)$$

при двух пробегах — по формуле

$$m_v = \pm 0,71 \frac{V}{t} m_t \quad (25)$$

где V — скорость судна, узлы;

t — время пробега между секущими створами, сек;

m_t — средняя квадратическая ошибка измерения времени пробега, сек.

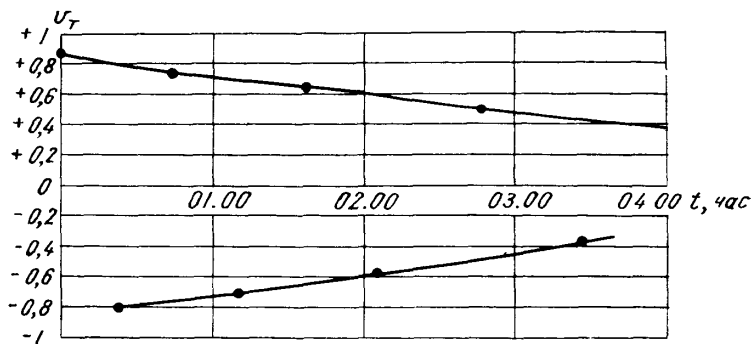


Рис. 9

Средняя квадратическая ошибка определения поправки лага на мерной линии при трех пробегах может быть подсчитана по формуле

$$m_{\Delta A^0|_0} = \frac{0,87 \cdot m_{ол}}{S} \cdot 100; \quad (26)$$

при двух пробегах — по формуле

$$m_{\Delta A^0|_0} = \frac{m_{ол}}{S} \cdot 100, \quad (27)$$

где $m_{ол}$ — средняя квадратическая ошибка в отсчете лага;

S — расстояние между секущими створами.

Исследования и практика показывают, что даже при самых благоприятных условиях в определении поправки лага возможна ошибка порядка $\pm 0,5\%$.

Схема записей определения скоростей и поправок лага на скоростных испытаниях

На _____ мерной линии, т/х _____
(название)

_____ 196 г.

Условия проведения испытаний.

1. Углубление штевней во время испытаний _____
2. Водоизмещение судна во время испытаний _____
3. Судно было в доке _____
(дата)
4. Ветер _____
5. Состояние моря _____
6. Средняя глубина моря в районе пробега _____

Таблица А

Расчет среднего числа оборотов винтов (по суммарному счетчику)

№ пробега	Средний промежуток времени между моментами появления отсчетов, кратных 100 t' , сек	Число оборотов винтов в минуту на пробеге N_t , об/мин	Среднее число оборотов винтов в минуту для данной скорости N , об/мин
1	54	111	110
2	54	111	
3	56	107	
4	77	78	80
5	72	83	
6	79	76	
7	113	53	50
8	125	48	
9	117,5	51	

Таблица Б

Наблюдения механической части

№ пробега	Мощность машин, л. с.	Расход топлива на 1 л. с. в час, кг	Часовой расход топлива, кг	Расход топлива на 1 милю, кг	Дальность плавания, мили	Продолжительность плавания, часы
1—3						
4—6						
7—9						

Расчеты скоростей и поправок лага

Таблица В

№ пробега	№ створа		Отсчеты секундомера	Средняя продолжительность пробега t , сек	Истинное состояние S , мили	Наблюдаемые скорости V , узлы	Средняя скорость V , узлы	Среднее число оборотов винтов в минуту N , об/мин	Отсчеты лага начальный/конечный	Разность отсчетов лага, $рол$	$S-рол$	Поправка лага на каждом пробеге $\Delta л$ %	Средняя поправка лага $\Delta л$ %
время выхода на пробег	начальный	конечный											
$\frac{1}{00^c}$	1	2	$\begin{smallmatrix} 3^m 25^c \\ 3 \ 24 \\ 3 \ 23 \end{smallmatrix}$	204	0,980	17,25	16,25	110	$\frac{78,70}{79,73}$	1,03	-0,05	-4,86	-2,96 %
$\frac{2}{21^m 30^c}$	2	1	$\begin{smallmatrix} 3 \ 47 \\ 3 \ 46 \\ 3 \ 45 \end{smallmatrix}$	226		15,60			$\frac{84,63}{85,63}$	1,00	-0,62	-2,00	
$\frac{3}{42^m 49^c}$	1	2	$\begin{smallmatrix} 3 \ 34 \\ 3 \ 33 \\ 3 \ 32 \end{smallmatrix}$	213		16,55			$\frac{90,38}{91,39}$	1,01	-0,03	-2,97	
$\frac{4}{1^h 08^m 35^c}$	2	1	$\begin{smallmatrix} 5 \ 22 \\ 5 \ 21 \\ 5 \ 20 \end{smallmatrix}$	321		11,00			$\frac{95,84}{96,81}$	0,97	+0,01	+1,03	
$\frac{5}{1^h 36^m 29^c}$	1	2	$\begin{smallmatrix} 4^m 30^c \\ 4 \ 29 \\ 4 \ 28 \end{smallmatrix}$	269	0,980	13,10	12,00	80	$\frac{01,32}{02,33}$	1,01	-0,03	-2,97	-0,97 %
$\frac{6}{2^h 03^m 03^c}$	2	1	$\begin{smallmatrix} 5 \ 28 \\ 5 \ 27 \\ 5 \ 26 \end{smallmatrix}$	327		10,80			$\frac{06,76}{07,73}$	0,97	+0,01	+1,03	
$\frac{7}{2^h 43^m 44^c}$	1	2	$\begin{smallmatrix} 7 \ 01 \\ 7 \ 00 \\ 6 \ 59 \end{smallmatrix}$	420	0,980	8,40	7,50	50	$\frac{12,05}{13,02}$	0,97	+0,01	+1,03	+2,36 %
$\frac{8}{3^h 22^m 50^c}$	2	1	$\begin{smallmatrix} 8 \ 40 \\ 8 \ 39 \\ 8 \ 38 \end{smallmatrix}$	519		6,80			$\frac{17,04}{17,99}$	0,95	+0,03	+3,16	
$\frac{9}{4^h 03^m 02^c}$	1	2	$\begin{smallmatrix} 7 \ 22 \\ 7 \ 21 \\ 7 \ 20 \end{smallmatrix}$	441		8,00			$\frac{21,96}{22,92}$	0,96	+0,02	+2,08	

Примечание. Табл. В составлена для расчета $\Delta л$ по формуле (4). Если расчет $\Delta л$ ведется по формуле (5), то вместо графы $S-рол$ должна быть графа «Скорость хода, вычисленная по лагу без учета его поправки

$$V'_{ли} = \frac{3600 \cdot рол}{t_{сек}} \text{ »}.$$

Расчет скоростей течения

№ пробы	Наблюдаемые скорости V_1 , узлы	Средняя скорость V , узлы	Число оборотов винтов в минуту на пробеге N_1 , об/мин	Среднее число оборотов винтов в минуту N , об/мин	Аванс a	Отклонение числа оборотов винтов на каждом пробеге от среднего ΔN_1 , об/мин	Отклонение скорости относительно воды на каждом пробеге от средней скорости ΔV_1 , узлы	Скорость относительно воды на каждом пробеге V_1 , узлы	Скорость течения v_t , узлы
1	17,25		112			+1	+0,15	16,40	+0,85
2	15,60	16,25	111	110	0,148	+1	+0,15	16,40	-0,80
3	16,55		107			-3	-0,44	15,81	+0,74
4	11,00		78			-2	-0,30	11,70	-0,70
5	13,10	12,00	83	80	0,150	+3	+0,45	12,45	+0,65
6	10,80		76			-4	-0,60	11,40	-0,60
7	8,40		53			+3	+0,45	7,95	+0,45
8	6,80	7,50	48	50	0,150	-2	-0,30	7,20	-0,40
9	8,00		51			+1	+0,15	7,65	+0,35

Выбор необходимой длины пробега при определении поправки лага и скорости хода судна на мерной линии

Необходимая длина пробега при определении поправки лага и скорости хода судна зависит главным образом от требующейся точности знания этих величин. Слишком короткая длина пробега приводит к понижению точности определения этих величин. При слишком большой длине пробега точность определения Δl и V увеличивается, но зато возрастает время испытаний. Поэтому длина пробега должна быть оптимальной. Расчет необходимой длины пробега может быть произведен по формулам, приведенным ниже.

1. Вывод формулы, устанавливающей зависимость между длиной пробега и необходимой точностью знания поправки лага.

Напишем формулу средней квадратической ошибки функции в общем виде:

$$m = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_{x_2}^2 + \dots}$$

Средняя квадратическая ошибка определения поправки лага, рассчитанной по формуле (4), примет вид

$$m_{\Delta l} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{1}{\rho_{ол}}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{S}{\rho_{ол}^2}\right)^2 m_{\rho_{ол}}^2}$$

Длина пробега S между секущими створами определяется с высокой точностью, поэтому средней квадратической ошибкой m_S можно пренебречь ($m_S \approx 0$). Тогда

$$m_{\Delta l} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{S}{\rho_{ол}^2}\right)^2 m_{\rho_{ол}}^2}$$

Так как поправка лага обычно невелика, то можно с достаточной точностью в этом выражении принять

$$\rho_{ол} \approx S.$$

Тогда

$$m_{\Delta l} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{1}{S}\right)^2 m_{pol}^2} = \pm 100 \frac{m_{pol}}{S},$$

откуда

$$S = \pm 100 \frac{m_{pol}}{m_{\Delta l}}.$$

Переходя от средних квадратических ошибок к предельным ошибкам, получим

$$S = \pm 100 \frac{E_{pol}}{E_{\Delta l}} \quad (28)$$

где $E_{\Delta l}$ — предельная ошибка в определении поправки лага;

E_{pol} — предельная ошибка определения pol .

Так как $pol = ol_2 - ol_1$, то

$$E_{pol} = \sqrt{E_{ol_2}^2 + E_{ol_1}^2}$$

Принимая ошибки определения ol_1 и ol_2 одинаковыми, т. е. $E_{ol_1} = E_{ol_2}$, получим

$$E_{pol} = \sqrt{2} \cdot E_{ol}$$

У современных лагов отсчет может определяться с точностью до 0,1 деления, что при малой Δl будет соответствовать 0,1 кбт, т. е. с предельной ошибкой $E_{ol} = \pm 0,05 \text{ кбт} = \pm 9,3 \text{ м}$.

Подставляя $E_{pol} = \sqrt{2} \cdot E_{ol} = \pm 13,1 \text{ м}$ в выражение (28), получаем очень простую формулу для определения длины пробега

$$S = \frac{1310}{E_{\Delta l}}. \quad (29)$$

Задавшись предельной ошибкой определения поправки лага $E_{\Delta l} = \pm 0,5\%$, получим $S = 2620 \text{ м} = 1,41 \text{ мили}$.

При $E_{\Delta l} = \pm 1\%$ получаем $S = 1310 \text{ м} = 0,7 \text{ мили}$.

2 Вывод формулы, устанавливающей зависимость между длиной пробега, скоростью хода и необходимой точностью ее определения.

Средняя квадратическая ошибка определения скорости, рассчитанной по формуле $V = \frac{S}{t}$, имеет следующий вид

$$m_v = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{t}\right)^2 m_s^2 + \left(\frac{S}{t^2}\right)^2 m_t^2}.$$

Заменяя в этом выражении $t = \frac{S}{V}$, получим

$$m_v = \pm \frac{V}{S} \sqrt{m_s^2 + V^2 m_t^2}.$$

Длина пробега на мерной линии, как уже указывалось, определяется с высокой точностью, а поэтому средняя квадратическая ошибка длины пробега мала, и ею можно пренебречь, т. е. $m_s \approx 0$. Тогда

$$m_v = \pm \frac{V}{S} \sqrt{m_t^2 V^2} = \pm \frac{V^2}{S} m_t,$$

откуда

$$S = V^2 \frac{m_t}{m_v}.$$

Переходя от средних квадратических ошибок к предельным ошибкам, получим

$$S = V^2 \frac{E_t}{E_v}. \quad (30)$$

Задавшись предельной ошибкой в определении продолжительности пробега, равной 1,5 сек, и желая получить скорость судна с ошибкой, не превышающей 0,1 узла, после несложных преобразований выражения (30) получим более простую формулу для расчета необходимой длины пробега

$$S = \frac{V^2}{240} \quad (31)$$

Выражение (31) позволяет установить следующие пределы длины пробега, обеспечивающие необходимую точность определения скоростей хода:

при	$V=11$	узлов	$S=0,5$	мили
»	$V=15$	»	$S=1,0$	»
»	$V=18$	»	$S=1,5$	»
»	$V=25$	»	$S=2,6$	»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ХОДА И ПОПРАВКИ ЛАГА С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАТОРА

Скорость судна и поправка лага не являются величинами постоянными, они со временем изменяются под воздействием различных факторов. Поэтому скорость хода и поправку лага необходимо определять регулярно, несколько раз в год. Однако такую проверку не всегда можно сделать на мерной линии ввиду ее занятости, плохой видимости и т. д.

Скорость хода и поправку лага с достаточной точностью можно определить с помощью судового радиолокатора, имеющего подвижной круг дальности (ПКД).

Истинное расстояние, пройденное судном, получается при этом как разность расстояний, измеренных судовым радиолокатором до ориентира в начале и в конце пробега.

К району, в котором проводятся эти испытания, предъявляются такие же требования, что и к мерной линии.

Перед выходом на скоростные испытания необходимо тщательно продумать организацию работ, подготовить наблюдателей, составить схемы записей, проверить секундомеры и т. д. Для более точного измерения времени необходимо иметь трех наблюдателей с секундомерами.

Радиолокатор должен быть заблаговременно включен с тем, чтобы к моменту начала работы он прогрелся и был готов к действию. На ИКО,¹ ориентированном относительно диаметральной плоскости, устанавливается один из наибольших масштабов дальности с таким расчетом, чтобы его не приходилось переключать на одном пробеге.

Для проведения скоростных испытаний с помощью радиолокатора необходимо иметь в районе испытаний ориентир, дающий на экране РЛС точечный эхосигнал: катер, стоящий на якоре, буй с пассивным отражателем или радиолокационную вежу.

Чтобы исключить влияние течения, необходимо сделать не менее 3 пробегов, при этом курсовой угол на судно или буй должен быть равен 0° или 180° , а направление пробегов должно совпадать с направлением преобладающего фактора (течения или ветра) (рис. 10).

¹ ИКО — индикатор кругового обзора.

Скоростные испытания проводятся следующим образом.

Приводят буй на $KУ=0^\circ$ и развивают требуемую скорость хода. Когда наблюдатель у радиолокатора обнаружит буй на ИКО, подается команда «Приготовиться к работе на первом пробеге». По этой команде на экране ИКО устанавливается ПКД на заранее намеченное до буя расстояние. За одну минуту до подхода на это расстояние подается команда «товсь».

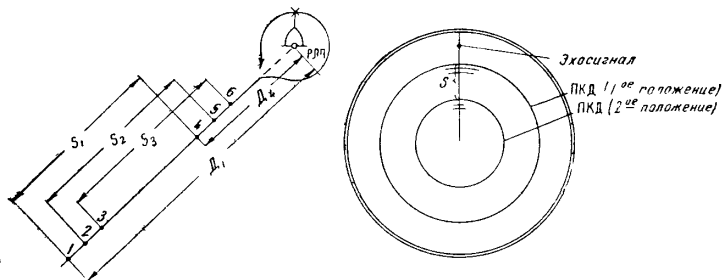


Рис. 10

В момент прихода судна на установленное до буя расстояние (эхосигнал буя коснется подвижного круга дальности) наблюдатель у радиолокатора подает команду «ноль».

По этой команде включают первый секундомер, замечают $ол_1$ и начинают наблюдать число оборотов винтов по тахометру. Затем дважды последовательно уменьшают расстояние на ИКО на 1—2 кбт и в момент касания эхосигналов буя с ПКД подают команды «ноль», по которым замечают $ол_2$ и $ол_3$.

В моменты подачи второй и третьей команд включают соответственно второй и третий секундомеры.

После этого устанавливают ПКД на расстояние, меньшее первоначального на 1—3 мили, в зависимости от скорости. За минуту до подхода судна на новое расстояние до буя подается команда «товсь», а в момент касания эхосигнала буя с ПКД — команда «ноль», по которой стопорят первый секундомер, замечают $ол_4$ и прекращают наблюдать число оборотов винтов по тахометру. Затем дважды последовательно уменьшают расстояние на ИКО на 1—2 кбт и в момент касания эхосиг-

нала буй с ПКД замечают $ол_5$ и $ол_6$. В эти моменты соответственно стопорят второй и третий секундомеры.

Если наблюдения за числом оборотов производятся по суммарному счетчику оборотов, то после подачи первой команды «ноль» наблюдатель у суммарного счетчика пускает свой секундомер в момент, когда появится отсчет, кратный 100. Когда отсчет суммарного счетчика изменится на 100 или 200, этот секундомер останавливают. Такие наблюдения производятся до момента подачи команды о приходе судна в точку 4 (рис. 10).

Закончив наблюдение на первом пробеге, судно делает поворот на обратный курс и, приведя буй на $KY=180^\circ$, совершает аналогичные наблюдения на втором пробеге. Точно так же проводятся наблюдения и на третьем пробеге. Записи наблюдений и их обработка выполняются по схеме, которая приводится на стр. 36. При обработке наблюдений в первую очередь нужно получить средние величины пройденных расстояний S , разностей отсчетов лагов $рол$ и показаний суммарного счетчика. Для этого применяют формулы

$$\begin{array}{lll} D_1 - D_4 = S_1, & ол_4 - ол_1 = рол_1, & N_i = \frac{6000}{t_{сек}} \\ D_2 - D_5 = S_2, & ол_5 - ол_2 = рол_2, & \\ D_3 - D_6 = S_3, & ол_6 - ол_3 = рол_3, & \text{или} \\ S = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} & рол = \frac{рол_1 + рол_2 + рол_3}{3} & N_i = \frac{12\,000}{t_{сек}} \end{array}$$

Производя трехкратное измерение S , $рол$ и t , можно существенно уменьшить влияние случайных ошибок наблюдений.

По полученным данным составляются графики и таблицы соответствия скорости хода и оборотов винтов, графики и таблицы изменения поправки лага от скорости хода.

При отсутствии специального буя с пассивным отражателем в качестве объекта наблюдений используют легкую плавающую вежу с радиолокационным отражателем, которую можно изготовить на каждом судне¹. При этом будет полностью исключаться действие течения даже на одном пробеге, так как свободно пла-

¹ Конструкция вежи описана в «Бюллетене Главного ревизора по безопасности мореплавания», 1957, № 7, стр. 76.

вающая радиолокационная вежа будет перемещаться под воздействием течения в такой же степени, как и судно.

Данный способ удобно применять в открытом море при благоприятных метеорологических условиях.

Выбор необходимой длины пробега при определении поправки лага и скорости хода судна с помощью радиолокатора

1) Необходимую длину пробега для определения поправки лага с заданной точностью можно найти из формулы

$$m_{\Delta l} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{1}{\rho_{ол}}\right)^2 m_s^2 + \left(\frac{S}{\rho_{ол}^2}\right)^2 m_{\rho_{ол}}^2}.$$

Так как поправка лага обычно не превышает нескольких процентов, то можно принять, что $\rho_{ол} \approx S$, тогда

$$m_{\Delta l} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{1}{S}\right)^2 m_s^2 + \left(\frac{1}{S}\right)^2 m_{\rho_{ол}}^2} = \pm \frac{100}{S} \sqrt{m_s^2 + m_{\rho_{ол}}^2}.$$

Переходя от средних квадратических ошибок к предельным, получим

$$E_{\Delta l} = \pm \frac{100}{S} \sqrt{E_s^2 + E_{\rho_{ол}}^2}, \quad (32)$$

где $E_{\Delta l}$ — предельная случайная ошибка определения Δl на пробеге;

E_s — предельная ошибка в определении длины пробега;

$E_{\rho_{ол}}$ — предельная ошибка в определении разности отсчетов лага.

Из формулы (32) видно, что ошибка в поправке лага тем меньше, чем больше S . Однако чрезмерное увеличение длины пробега является нежелательным, так как затягивает время работы, вынуждает менять масштаб ИКО, приводит к увеличению ошибок из-за возможного изменения гидрометеорологических условий во время испытаний и т. д. С другой стороны, чрезмерное уменьшение длины пробега может уменьшить и точность определения Δl .

Схема записей определения скорости хода и поправки лага с помощью радиолокатора

Буй с РЛП _____ Т/х _____ (название) _____ 196 г.

Условия определения: 1. Углубление штевней во время определений _____; 2. Водоизмещение судна во время определений _____; 3. Судно было в доке _____ (дата); 4. Ветер _____; 5. Состояние моря _____; 6. Средняя глубина моря в районе пробега _____.

Таблица Б

№ пробега	№ точки		Отсчеты секундомера	Средняя продолжительность пробега t , сек	Расстояние до буя, $кбт$		Пройденное расстояние S , мили	Наблюдаемые скорости V , узлы	Средняя скорость V , узлы	Среднее число оборотов винтов N , об/мин	Отсчеты лага начальный—конечный	Средняя разность отсчетов лага, $рол$	$S - рол$	Поправка лага на каждом пробеге Δl_i , %	Средняя поправка лага Δl , %
	начало пробега	конец пробега			начальное	конечное									
1	1	4	8 ^m 42 ^c	521	45	20	2,5	17,27			78,70—81,34	2,62	—0,12	—4,58	
	2	5	8 41		43	18					78,90—81,52				
	3	6	8 40		41	16					79,09—81,69				
2	1	4	9 39	577	15	40	2,5	15,60	16,25	110	86,20—88,77	2,55	—0,05	—1,96	—2,90 %
	2	5	9 37		17	42					86,40—88,95				
	3	6	9 35		19	44					86,60—89,13				
3	1	4	9 06	544	44	19	2,5	16,53			93,93—96,53	2,58	—0,08	—3,10	
	2	5	9 04		42	17					94,15—96,73				
	3	6	9 02		40	15					94,35—96,91				
4	1	4	8 45	523	16	32	1,6	11,01			01,42—03,01	1,57	+0,03	+1,91	
	2	5	8 43		18	34					01,61—03,18				
	3	6	8 41		20	36					01,80—03,35				
5	1	4	7 21	439	40	24	1,6	13,10	12,00	80	07,98—09,64	1,64	—0,04	—2,44	—0,27 %
	2	5	7 19		38	22					08,17—09,81				
	3	6	7 17		36	20					08,37—09,99				
6	1	4	8 56	534	14	30	1,6	10,80			14,70—16,29	1,57	+0,03	+1,91	
	2	5	8 54		16	32					14,90—16,47				
	3	6	8 52		18	34					15,10—16,65				
7	1	4	9 22	560	36	23	1,3	8,36			21,05—22,36	1,29	+0,01	+0,77	
	2	5	9 20		34	21					21,25—22,54				
	3	6	9 18		32	19					21,45—22,72				
8	1	4	11 32	690	15	28	1,3	6,78	7,48	50	27,20—28,48	1,26	+0,04	+3,18	+2,17 %
	2	5	11 30		17	30					27,39—28,65				
	3	6	11 28		19	32					27,59—28,83				
9	1	4	9 46	585	37	24	1,3	8,00			32,95—34,25	1,28	+0,02	+1,56	
	2	5	9 45		35	22					33,15—34,43				
	3	6	9 44		33	20					33,35—34,61				

Примечание. Формы остальных таблиц и схемы записей аналогичны приведенным в примере на стр. 25—28.

Для определения оптимальной длины пробега представим формулу (32) в следующем виде

$$S = \frac{100}{E_{\Delta l}} \sqrt{E_S^2 + E_{рол}^2} \quad (33)$$

Из формулы (33) видно, что длина пробега зависит от требующейся точности определения Δl , а также от ошибок в определении S и $рол$.

На 5-мильной шкале радиолокатора, которую наиболее целесообразно применять при определении Δl , расстояния до точечных объектов (буй с отражателем, катер и т. п.) определяются с ошибкой, не превышающей нескольких десятков метров. По данным И. Л. Бухановского, предельная случайная ошибка на этой шкале для радиолокатора «Нептун» равна ± 30 м. Систематические ошибки в определении радиолокационного расстояния D не скажутся на точности определения S .

Так как $S = D_1 - D_2$, то $E_S = \sqrt{2} E_D$, где E_D — предельная ошибка измерения расстояния радиолокатором.

Выше было показано, что $E_{рол} = \sqrt{2} E_{ол}$, где $E_{ол} = \pm 0,05$ кбт $= \pm 9,3$ м.

Подставив найденные значения E_S и $E_{рол}$ в формулу (33), получим

$$S = \frac{4440}{E_{\Delta l}} \quad (34)$$

Формула (34) показывает, что при существующих точностях определения расстояний радиолокатором и точности отсчета лага длина пробега зависит только от требующейся точности определения Δl .

При условии, что ошибка определения поправки лага не должна превышать $\pm 1\%$, получаем длину пробега $S = 4440$ м $= 2,4$ мили.

Так как поправка лага обычно определяется не на одном пробеге, а на нескольких (2—3), то для получения Δl с ошибкой не более $E_{\Delta l} = \pm 1\%$ достаточно иметь длину пробега при двух пробегах равной 1,7 мили и при трех пробегах 1,5 мили.

2) Путем аналогичных рассуждений можно из формулы $S = Vt$ получить выражение для подсчета оптимальной длины пробега при определении скорости хода

• судна с помощью радиолокатора:

$$S = \frac{V}{E_V} \sqrt{2E_D^2 + E_t^2 \cdot V^2}, \quad (35)$$

где E_V — предельная ошибка определения скорости судна на пробеге;

E_t — предельная ошибка в определении времени пробега между двумя наблюдениями.

Приняв предельную ошибку в определении времени пробега $E_t = \pm 1,5$ сек, предельную ошибку в определении скорости судна $E_V = \pm 0,1$ узла, получим длины пробега, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

Скорость хода, узлы	Длина (мили)		
	при одном пробеге	при двух пробегах	при трех пробегах
10	2,3	1,7	1,4
15	3,6	2,6	2,2
18	4,3	3,1	2,6
20	4,9	3,5	3,0

Если принять иную точность определения расстояний до точечных объектов радиолокатором или если судоводитель желает знать поправку лага и скорость судна с другой точностью, а не с такой, какая установлена выше, то оптимальные длины пробегов могут быть легко рассчитаны по формулам (33), (35).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ХОДА И ПОПРАВКИ ЛАГА С ПОМОЩЬЮ ДРУГИХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Скорость хода судна и поправку лага можно определять с помощью некоторых радионавигационных систем, обеспечивающих определение места судна с высокой точностью. Сущность способа заключается в том, что в начале и конце пробега место судна определяется с высокой точностью. Расстояние, пройденное судном на пробеге, снимается с крупномасштабного планшета, на который наносятся обсервованные точки.

Преимуществом такого способа определения скорости и поправки лага является высокая точность определяемых элементов, а также многократность этих определений. Скоростные испытания можно производить на больших глубинах, что позволит избежать ошибок, вызываемых мелководьем.

Длина пробега для определения скорости может быть рассчитана по формуле

$$S = \frac{V}{E_V} \sqrt{2E_M^2 + E_t^2 \cdot V^2}, \quad (36)$$

где E_M — предельная ошибка определения места судна данной радионавигационной системой.

Формула (36) получена из выражения (35).

Длина пробега, необходимая для определения поправки лага с заданной точностью, может быть определена по формуле

$$S = \frac{100}{E_{\Delta A}} \sqrt{2E_M^2 + E_{pol}^2} \quad (37)$$

Формула (37) получена из выражения (33).

Рассмотрим несколько возможных случаев скоростных испытаний при использовании точных радионавигационных систем.

1. Скоростные испытания при использовании дальномерных систем (радиолаг, радиодальномер и т. п.)

В этом случае направление пробега должно располагаться перпендикулярно к двум последовательно расположенным стадиметрическим изолиниям (линиям равных расстояний от береговой станции). Обычно эти изолинии можно принять за параллельные прямые линии. Направление пробега, перпендикулярное к изолиниям, выдерживается по компасу.

Началом пробега является момент прохождения какой-либо определенной изолинии, концом пробега — момент прохождения другой изолинии, отстоящей от первой на расстоянии, необходимом для проведения испытаний при данной скорости хода. В начале и в конце пробега последовательно трижды определяют место судна. В каждой начальной точке-обсервации запускают секундомеры. Стопорят секундомеры в соответствующих ко-

нечных точках-обсервациях. Все команды как предварительные, так и исполнительные подает руководитель работ, производящий наблюдения для определения места судна.

Если в районе испытаний имеется течение, то уменьшить его влияние на результаты испытаний можно путем повторения пробегов и применения для обработки наблюдений формул (9) и (10). Если течение не будет совпадать с направлением пробегов, то оно также будет исключаться из результатов испытаний применением указанной выше методики наблюдений и обработки. Заметим, что в этом случае вектор течения может быть разложен на составляющую, параллельную направлению изолиний, не оказывающую влияния на наблюдения, и на составляющую, перпендикулярную к направлению изолиний. Влияние этой составляющей вектора течения исключается применением формул (9) и (10).

2. Скоростные испытания при использовании точных гиперболических радионавигационных систем (фазовый зонд, Декка и т. п.)

Некоторые существующие в настоящее время фазовые гиперболические радионавигационные системы дают возможность определить место судна с такой высокой точностью, что могут успешно применяться для скоростных испытаний судов. При этом методика наблюдений может быть такая же, как и в предыдущем случае. Для исключения субъективных ошибок наблюдателя и получения материала для последующего анализа рекомендуется показания счетчиков-фазометров фотографировать через 30 сек.

Для исключения влияния течения может быть также применена несколько иная методика испытаний.

Все предыдущие способы определения скорости хода и поправки лага основывались на равных длинах пробегов в разных направлениях, т. е. $S_1=S_2=S_3=S$. Для исключения течения в этом случае пробеги можно делать равными по времени, т. е. $t_1=t_2=t_3=t$. Здесь измеряются и осредняются формулой (9) проекции путевой скорости на каждом пробеге на линию курса судна, т. е. практически вследствие равенства времени лежания на каждом пробеге — расстояния, проходимые по линии

курса Это исключит составляющую течения, действующую по направлению линии курса. Составляющая течения, действующая по направлению, перпендикулярному к линии курса, влияния на определяемую скорость не окажет.

Таким образом, равные по времени пробеги располагаются параллельными и противоположно направленными истинными курсами: $ИК_1$, $ИК_2 = ИК_1 + 180^\circ$, $ИК_3 = ИК_1$. Для того, чтобы можно было более точно засечь моменты начала и конца пробегов, линии курсов располагаются перпендикулярно к одной из гиперболических изолиний. Ошибка от принятия этих изолиний в районе пробега за прямые линии будет практически незначительна. Рис. 11 и 12 наглядно показывают исключение влияния течения данным методом.

Расстояния между обсервациями, пройденные на каждом пробеге, соединяются попарно таким образом, чтобы конец первого пробега (точка B) являлся началом обратного пробега (рис. 11). Противоположные концы векторов пути первого и обратного пробегов соединяются прямой AC . Точка D' делит прямую AC пополам. При постоянном течении прямая BD' совпадает с прямой BD и будет являться по величине истинной скоростью судна, умноженной на время пробега, а по направлению — истинным курсом пробега. Прямая AD' (AD) покажет направление и скорость течения. Как уже говорилось выше, при постоянном течении достаточно сделать два пробега, при равномерно изменяющемся течении — три пробега. Прямая CE' представляет собой среднюю путевую скорость второго и третьего пробегов. Среднее между прямыми BD' и CE' , полученное соединением этих прямых, проведенных из одной точки, прямой BE' и делением этой прямой пополам, дает истинную скорость судна и его истинный курс (рис. 12).

ПРОВЕРКА ПОПРАВКИ ЛАГА В УСЛОВИЯХ ПЛАВАНИЯ

Поправка лага должна определяться и проверяться, как правило, на мерной линии либо с помощью радиолокатора по бую с пассивным отражателем. Однако такая возможность не всегда имеется. Поэтому судоводители часто проверяют поправку лага в условиях плавания,

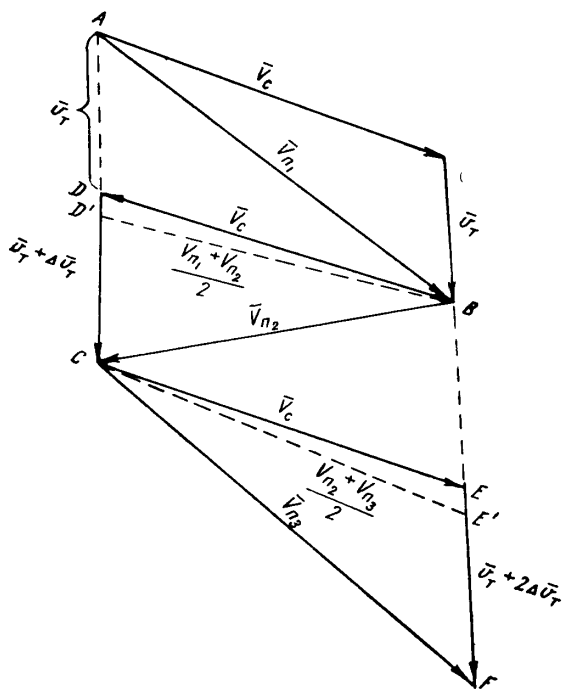


Рис. 11

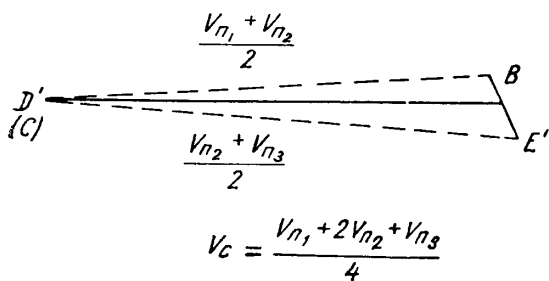


Рис. 12

сравнивая расстояние, пройденное по лагу, с расстоянием, пройденным между двумя точно обсервованными точками (по двум углам, по трем пеленгам, по радиолокационным расстояниям до точечных объектов и т. п.) или между траверсами двух маяков (рис. 13).

В этом случае поправку лага рассчитывают по формуле (4). Однако следует иметь в виду, что определенная таким образом поправка лага будет иметь ошибку за счет

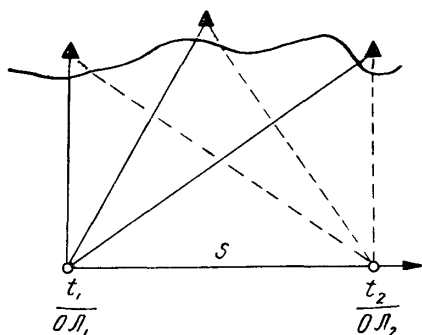


Рис. 13

неизвестного, не исключенного во время испытаний течения. Для уменьшения влияния этого течения необходимо определить поправку лага и на обратном курсе. Тогда более точная поправка лага найдется по формуле (3).

Обычно в условиях плавания не всегда возможно совершить пробег в обратную сторону, чтобы исключить

влияние постоянного течения на определение поправки лага. Учитывая это, капитан дальнего плавания М. М. Лесков и инженер-судоводитель Ф. П. Голенков предложили способ определения поправки лага в рейсе без пробега в обратном направлении, ограничиваясь изменением курса на угол не менее 30° . Такой метод позволяет исключить влияние постоянного течения на определяемую поправку лага.

Сущность данного метода заключается в следующем. Судно, следуя $ИК_1$ (рис. 14), дважды определяет свое место наиболее точным способом (точки A и B). Поправка лага неизвестна и при счислении принята равной нулю. В районе плавания действует постоянное течение со скоростью v_T (направление указано на рис. 14).

В момент второй обсервации судно по счислению (при $\Delta l = 0\%$) находилось в точке b . Невязка C_1 , которую можно снять с карты, вызвана неучетом поправки лага (отрезок ΔS) и сносом от течения (отрезок s_T). Из косо-

угольного $\triangle b f B$ можно написать

$$s_{T_1}^2 = \Delta S_1^2 + C_1^2 - 2C_1 \cdot \Delta S_1 \cdot \cos(\gamma_1 - ИК_1), \quad (38)$$

где γ_1 — направление невязки C_1 .

Получив вторую обсервацию (точка B), судно изменяет курс на угол не менее 30° и на этом курсе ($ИК_2$ на рис. 14) получает два обсервованных места (точки D

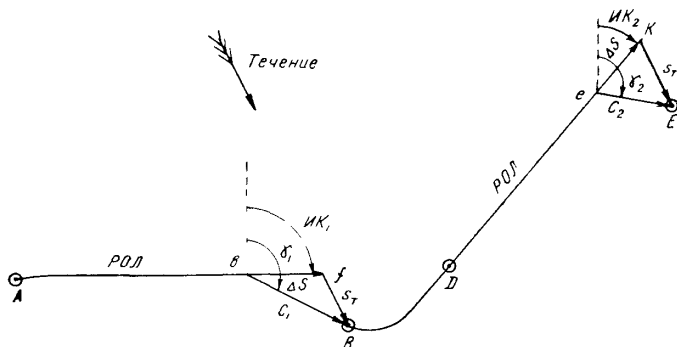


Рис. 14

и E) через такой же промежуток времени, как и при обсервациях на $ИК_1$. Из косоугольного $\triangle екЕ$ получим

$$s_{T_2}^2 = \Delta S_2^2 + C_2^2 - 2C_2 \cdot \Delta S_2 \cdot \cos(\gamma_2 - ИК_2). \quad (38')$$

Так как время пробега между каждой парой обсерваций одинаково ($t_1 = t_2$), а течение постоянное, то

$$s_{T_1} = s_{T_2} = s_T \text{ и } \Delta S_1 = \Delta S_2 = \Delta S.$$

Решая совместно оба эти уравнения, получим:

$$\Delta S = \frac{(C_1^2 - C_2^2)}{2[C_1 \cos(\gamma_1 - ИК_1) - C_2 \cos(\gamma_2 - ИК_2)]}. \quad (39)$$

Подставив $\Delta S = S - \text{рол}$ в формулу (4), получим рабочую формулу для вычисления поправки лага

$$\Delta \text{л} \% = \frac{50(C_1^2 - C_2^2)}{\text{рол} [C_1 \cos(\gamma_1 - ИК_1) - C_2 \cos(\gamma_2 - ИК_2)]}. \quad (40)$$

Если при плавании на втором курсе $ИК_2$ не удалось получить обсервованные точки через такой же промежу-

ток времени, как и на первом курсе $ИК_1$, то необходимо значение невязки C_2 привести ко времени пробега на первом курсе

$$C'_2 = C_2 \frac{t_1}{t_2} \quad (41)$$

где C'_2 — невязка на втором курсе для случая $t_2 \neq t_1$, т. е. приведенное значение невязки.

В этом случае в формулу (40) вместо C_2 следует подставлять C'_2 .

Точность определения поправки лага таким методом зависит от постоянства течения в районе плавания, точности обсерваций и построений на карте, а также от величины пройденного расстояния и величины изменения курса. Анализ показывает, что для получения поправки лага с точностью до 1% необходимо иметь длину пробега между обсервациями не менее 20 миль. Прокладку нужно вести на карте наиболее крупного масштаба, определяя места судна наиболее точными способами.

Пример. Следуя вдоль берега $ИК_1=90^\circ$ со скоростью 10 узлов, определили место судна по 3 пеленгам, через 2 часа наблюдения повторили. Разность отсчетов лага за время пробега между обсервациями $рол=20,0$. Поправка лага неизвестна и принята равной нулю. Нанеся на карту считаемое и обсервованное места, получаем невязку $C_1=121^\circ - 2,8$ мили.

Для определения поправки лага после второй обсервации легли на $ИК_2=45^\circ$. На этом курсе также получили две обсервованные точки через промежуток времени 2 часа; $рол_2=20,0$. Невязка $C_2=106^\circ - 2,2$ мили.

Получив необходимые данные, по формуле (40) вычисляем поправку лага

$$\begin{aligned} \Delta л \% &= \frac{50 (2,8^2 - 2,2^2)}{20 [2,8 \cos (121^\circ - 90^\circ) - 2,2 \cos (106^\circ - 45^\circ)]} = \\ &= \frac{150}{26,8} = + 5,6 \% \end{aligned}$$

Действительная поправка лага в данном случае была равна +5,0%. Таким образом, ошибка в поправке лага, определенной данным методом, оказалась равной 0,6%.

Во время плавания на судно действовало течение на SO со скоростью 1 узел.

Если же не только пробег в обратную сторону, но и отворот на другой курс осуществить нельзя, то получен-

ной поправкой лага, определенной на одном курсе, можно пользоваться только на данном курсе. Эту поправку лага правильнее называть поправкой плавания.

ИНЕРЦИЯ СУДНА И ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Знание элементов инерции судна является важным для судоводителя, главным образом, с точки зрения вопросов морской практики, связанных со швартовкой судна, буксировкой, постановкой на якорь, выполнением ППСС и пр.

Основными элементами инерции являются:

1. Расстояние, проходимое судном от момента изменения положения ручек машинного телеграфа, до момента, когда судно развивает скорость, соответствующую этому положению.

2. Время, за которое судно изменяет движение с одного режима на другой.

Наиболее важные элементы инерции судна, которые нужно знать судоводителю, следующие:

1. Время, необходимое для остановки судна после перевода ручек машинного телеграфа в положение «стоп» со скоростей, которыми обычно ходит судно, а также расстояние, проходимое судном по инерции за это время.

2. Время, необходимое для остановки судна после перевода ручек машинного телеграфа в положение «полный назад» со скоростей, которыми обычно ходит судно, а также расстояние, проходимое судном по инерции за это время.

3. Время, необходимое для установления новой (большей или меньшей) скорости после перевода ручек машинного телеграфа в новое положение со скоростей, которыми обычно ходит судно, а также расстояние, проходимое судном за это время.

4. Время, необходимое для приобретения определенной скорости хода после перевода ручек машинного телеграфа из положения «стоп».

Элементы инерции зависят от следующих факторов:

1) времени, необходимого для передачи команды в машинное отделение¹;

¹ На судах, где управление двигателями производится непосредственно с мостика, этого элемента не будет.

2) времени, необходимого для перевода механизмов на новый режим работы, и развития гребными винтами нового числа оборотов;

3) времени, необходимого для преодоления инерции судна, считаемого от момента развития гребными винтами нового числа оборотов до момента установления новой скорости судна, соответствующей этому числу оборотов.

Элементы инерции проще всего определяются опытным путем. При определении элементов инерции ветер и состояние моря не должны превышать 1 балла.

Все вышеназванные элементы инерции могут быть определены, если есть возможность точно знать место судна.

Наиболее точно элементы инерции могут быть определены в случае, если места судна определяются по двум горизонтальным углам, измеренным с помощью секстана. Секстаны должны быть тщательно выверены и подготовлены к работе. Работа по определению инерции судна в этом случае заключается в следующем.

Судно выходит в район, где возможно определение места судна по двум углам, и ложится на курс, на котором будет производиться работа.

Когда судно разовьет необходимую скорость, руководитель работ подает команду «товсь». По этой команде наблюдатели начинают измерение углов, держа все время изображения предметов, между которыми измеряются углы, совмещенными в поле зрения секстана.

В момент подачи команды «ноль» ручки машинного телеграфа переводятся в новое положение, запускается секундомер и измеряются горизонтальные углы.

После этого наблюдают за показаниями указателя скорости лага и отмечают по секундомеру, не останавливая его, моменты изменения скорости хода на 1—2 узла. Целесообразно в эти моменты определять места судна.

Когда судно разовьет новую скорость, о чем судят по показанию указателя скорости лага, стопорят секундомер и вновь измеряют горизонтальные углы.

Нанеся на карту крупного масштаба места судна, снимают расстояние между начальной и конечной точками.

Удобно производить определение элементов инерции на мерной линии.

В этом случае перевод ручек машинного телеграфа в новое положение и команда «ноль» подается в момент пересечения первого секущего створа. Причем судно должно лежать на курсе, перпендикулярном секущему створу.

При увеличении или уменьшении скорости хода во время определения элементов инерции судно удерживается на заданном курсе с помощью руля.

Если же инерция определяется после перевода ручек машинного телеграфа в положение «стоп», то судно удерживают на курсе до момента, пока оно слушается руля, после чего руль ставится прямо.

Наиболее просто и достаточно точно элементы инерции судна могут быть определены с помощью радиолокатора по бую с пассивным отражателем (или по радиолокационной вехе). При этом начальный порядок наблюдений тот же, что и для определения скорости и поправки лага. Далее судно приводит буй (веху) на $KY=0^\circ$ (180°) и развивает необходимую скорость хода. ПКД устанавливается на определенное расстояние, например на 1 или 2 мили. В момент касания эхосигнала буя и ПКД машинный телеграф ставится в новое положение, включается секундомер. Когда судно приобретет новый режим движения, измеряется расстояние до буя (вехи) и останавливается секундомер. Разность расстояний, измеренных до буя (вехи) в начале и конце наблюдений, представит расстояние, пройденное судном по инерции, а секундомер покажет время, которое потребовалось для установления нового режима движения (в частном случае для остановки судна).

В случае, когда нет возможности определять элементы инерции судна приведенными выше способами, применяют метод «планширного» лага. Для этого три наблюдателя располагаются: на носу судна, на корме и на мостике. Между ними устанавливается связь (свистком, флажками или по телефону).

В момент перевода ручек машинного телеграфа в новое положение наблюдатель на носу сбрасывает вешку (чурку). Наблюдатель на мостике запускает в этот момент секундомер. Когда первая вешка окажется на траверзе наблюдателя на корме, он подает сигнал, по которому наблюдатель на носу сбрасывает вторую вешку. Сбрасывание вешек продолжается до момента, пока

судно не разовьет новую заданную скорость, что определяется по показанию указателя скорости лага. В этот момент стопорится секундомер, и на глаз определяется расстояние от носа или от кормы судна до последней сброшенной вешки.

Подсчитав число сброшенных вешек и учтя положение последней вешки, получают искомое расстояние в

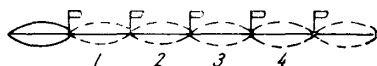


Рис. 15

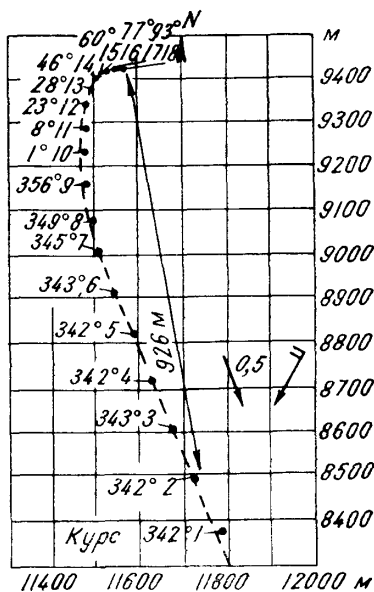


Рис. 16

длинах судна (рис. 15). Результаты наблюдений сводятся в таблицу (см. приложение).

По сообщениям печати, за рубежом для определения элементов инерции успешно применяется фазовая система Декка, позволяющая непрерывно получать место судна с высокой точностью. При определении элементов инерции используют специальные крупномасштабные карты определенного района, на которые наносят изолинии, оцифрованные в метрах. Для примера на рис. 16 показана запись движения судна, у которого определялись элементы инерции после дачи полного хода назад. Около точек обсерваций (1—18) показан курс судна в каждой из этих точек. В точке 2 был дан полный

ход назад, а в точке 6 машина застопорена. Расстояние, пройденное судном по воде до полной остановки за время 6,5 мин, равно 1026 м. По прямой расстояние от точки 2 до точки 18, в которой судно не имело движения, несколько меньше и равно 926 м. Судно двигалось по криволинейному пути под влиянием ветра и течения.

При определении элементов инерции с помощью фазовых систем можно получить с высокой точностью не только элементы инерции, но и установить подлинную траекторию движения судна. Знание пути судна после изменения режима его движения имеет важное значение во многих случаях морской практики.

ЦИРКУЛЯЦИЯ СУДНА

Циркуляцией называется криволинейная траектория, описываемая центром тяжести судна при выведенном из прямого положения руле (рис. 17).

После подачи команды на руль (точка A) судно не сразу начинает совершать циркуляцию, а некоторое расстояние проходит прежним курсом (до точки B). Это объясняется тем, что от момента подачи команды на руль до момента поворота пера руля на заданный угол проходит некоторый промежуток времени. Промежуток времени, в течение которого судно продолжает идти прежним курсом, называется мертвым промежутком. Он характеризует инерционные качества судна. За время мертвого промежутка судно может уклониться от первоначального курса в сторону, противоположную переключке руля на незначительное расстояние, не превышающее ширины судна. В дальнейшем центр тяжести судна начинает движение по спиральной кривой, которая после поворота судна на $90 \div 180^\circ$ принимает форму окружности и называется установившейся циркуляцией.

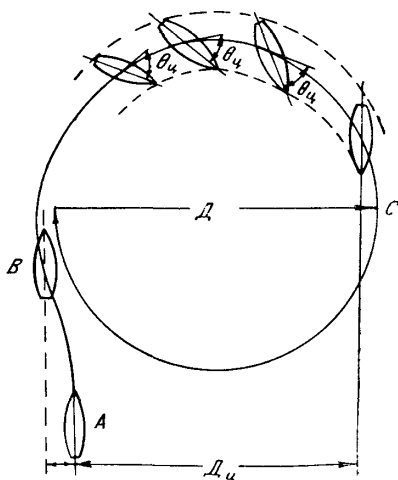


Рис. 17

Основными элементами циркуляции судна являются диаметр и полупериод циркуляции. Диаметр циркуляции характеризует собой поворотливость судна.

Различают тактический диаметр и диаметр установившейся циркуляции.

Под тактическим диаметром циркуляции $D_{\text{ц}}$ понимают расстояние по нормали между первоначальным курсом судна и его диаметральной плоскостью после поворота на 180° .

Диаметром установившейся циркуляции D называется диаметр окружности, по которой движется центр тяжести судна во время установившейся циркуляции.

Для судоводителей практическое значение имеет тактический диаметр циркуляции. Тактический диаметр циркуляции превышает соответствующий ему диаметр установившейся циркуляции примерно на 10%. В дальнейшем тактический диаметр циркуляции будем называть просто диаметром циркуляции.

Для судна величина диаметра циркуляции зависит от ряда факторов, например от изменения скорости хода, угла перекладки руля, числа действующих винтов, загрузки судна, дифферента, крена и пр.

При изменении скорости судна диаметр циркуляции изменяется в небольших пределах. Например, при увеличении скорости хода судна в 2 раза диаметр циркуляции увеличивается примерно на 25%.

С увеличением угла перекладки руля диаметр циркуляции уменьшается.

Для навигационных целей диаметр циркуляции выражается в кабельтовых, для целей управления судном — в длинах судна, причем для морских транспортных судов диаметр циркуляции обычно составляет 5—8 длин судна.

Вторым основным элементом, характеризующим поворотливость судна, является полупериод циркуляции. Под полупериодом циркуляции понимают промежуток времени, в течение которого судно поворачивается на 180° . Он зависит от скорости хода судна и угла перекладки руля. С увеличением скорости хода судна и угла перекладки руля полупериод циркуляции уменьшается.

Когда судно совершает циркуляцию, его диаметральной плоскостью не совпадает с касательной к криволинейной траектории движения центра тяжести, в результате чего образуется так называемый угол дрейфа $\theta_{\text{ц}}$. Нос судна смещается при этом внутрь кривой циркуляции, а

корма заносится во внешнюю ее сторону. С увеличением скорости угол дрейфа увеличивается, и наоборот.

Благодаря наличию угла дрейфа судно ляжет на обратный курс раньше, чем его центр тяжести придет в точку С (см. рис. 17).

Из-за наличия угла дрейфа судно на циркуляции занимает полосу воды больше ширины судна. Это обстоятельство необходимо учитывать при плавании в узкостях.

Величина угла дрейфа на циркуляции бывает обычно порядка 4—10°.

Во время поворота вследствие тормозящего действия руля и появления угла дрейфа возрастает сопротивление воды движению судна, что приводит к уменьшению скорости хода. Потеря скорости хода на циркуляции доходит до 25—30%, а у некоторых судов — до 50%, причем у судов, обладающих лучшей поворотливостью, потери в скорости хода больше.

При перекладке руля появляется крен в сторону центра циркуляции, а с началом поворота крен в сторону центра циркуляции исчезает, и судно получает крен на другой борт.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИРКУЛЯЦИИ

Все элементы циркуляции определяются опытным путем¹ для основных режимов работы машин на переднем ходу при принятых для данного судна углах перекладки руля как вправо, так и влево — для одновинтовых судов, и только в одну сторону — для двухвинтовых судов, для двух вариантов загрузки — в балласте и в полном грузу.

Для этого, переложив руль, примерно через каждые 20—30 сек определяют места судна на циркуляции, замечают курсы по гирокомпасу и крен по кренометру. Затем на планшете или карте крупного масштаба по дан-

¹ Тактический диаметр циркуляции морского судна может быть определен по приближенной формуле, предложенной В. Л. Поздныным,

$$D_{ц} = \frac{L^2 \cdot T}{10 \cdot S},$$

где L — длина судна, м;
 T — осадка судна, м;
 S — площадь пера руля, м².

ным наблюдений наносят места судна и соединяют их плавной кривой. Зная удаление форштевня и ахтерштевня от точки на судне, положение которой определялось по береговым предметам, и курс, на планшете наносят положение диаметральной плоскости судна в каждый момент наблюдений. С планшета снимают диаметр циркуляции, угол дрейфа, определяют ширину полосы, занимаемую судном во время поворота. Графическое построение циркуляции дает возможность определить и другие элементы циркуляции. •

При определении элементов циркуляции требования к гидрометеорологическим условиям должны быть не ниже, чем при определении скорости хода и поправки лага. При наличии постоянного течения определение элементов циркуляции рекомендуется производить относительно свободно плавающих ориентиров. Если такой возможности нет, то совершают одинаковые повороты дважды — по течению и против течения. Осредненные результаты этих наблюдений дадут элементы циркуляции, в которых искажения за счет влияния течения будут значительно уменьшены. Производить определение элементов циркуляции на переменном течении не рекомендуется вследствие низкой точности получаемых в этом случае результатов наблюдений.

Определение места судна на циркуляции может производиться следующими способами: с помощью радиолокатора, по двум горизонтальным углам, по пеленгу и вертикальному углу и др.

1. Определение элементов циркуляции с помощью радиолокатора¹

В качестве объекта, относительно которого производится определение места судна, может быть использован буй с пассивным радиолокационным отражателем или радиолокационная вежа. ИКО радиолокатора должен быть ориентирован относительно меридиана.

Придя на траверз буя на расстоянии 2—3 кбт судно начинает описывать циркуляцию (рис. 18).

В момент подачи команды на руль (точка А) запускаются 3 секундомера. В момент начала поворота судна — точка В (определяется по компасу) один из секундоме-

¹ Радиолокатор должен иметь ПКД

ров останавливается. Отсчет по этому секундомеру покажет величину мертвого промежутка. В моменты подачи команды на руль при начале поворота, а затем через каждые 30 сек берут по гирокомпасу пеленги на буй и измеряют расстояния до него с помощью радиолокатора. Одновременно замечают курсы по компасу и показания кренометра. Когда судно придет на обратный курс, останавливают второй секундомер.

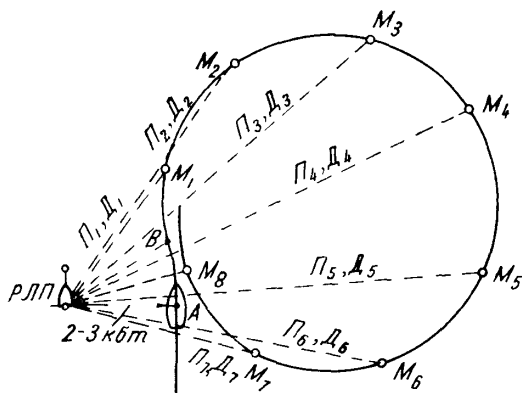


Рис. 18

Работа продолжается до тех пор, пока судно не вернется на первоначальный курс. В этот момент останавливают третий секундомер.

Заключив наблюдения, производят построение кривой циркуляции. Для этого на листе бумаги от одной точки прокладывают истинные пеленги¹ и измеренные расстояния в произвольно избранном масштабе. Полученные точки соединяют плавной кривой, а затем снимают элементы циркуляции. Наблюдения рекомендуется вести по схеме, которая приводится ниже.

Если судоводителю необходимо получить только основные элементы циркуляции (тактический диаметр и период), то наблюдения значительно упрощаются.

Судно развивает необходимую скорость и ложится на курс с расчетом пройти буй в расстоянии 2—3 кбт.

¹ Баллистическими погрешностями гирокомпаса, возникающими на циркуляции, ввиду их сравнительно небольшой величины, пренебрегаем.

Идея этого способа состоит в том, что эхосигнал от точечного объекта на экране радиолокатора при ориентировке радиолокационного изображения относительно диаметральной плоскости в период циркуляции судна опишет кривую, точно повторяющую кривую циркуляции судна. Эта кривая фотографируется¹, а затем с фотоотпечатка снимаются все необходимые данные о циркуляции.

Перед началом работы изображение на экране радиолокатора ориентируется относительно диаметральной плоскости, включаются НКД, отметка курса, освещение шкал направлений; визир ставится на отсчет $KY = 90^\circ$. Шкала дальности выбирается наиболее крупного масштаба, но по расстоянию не менее предполагаемого диаметра циркуляции. Для отечественных радиолокаторов можно рекомендовать использовать следующие шкалы:

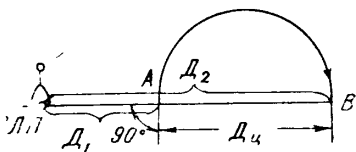


Рис. 19

- «Дон» — 0,8 или 2,5 мили,
- «Нептун» — 1,5 мили,
- «Донец» — 1 или 3 мили,
- «Створ» — 1 или 2,5 мили.

Судно развивает заданную скорость хода и ложится на курс с расчетом пройти буй на расстоянии 1—1,5 кбт. За 20—30 сек до прихода буя на траверз открывают затвор фотоаппарата и замечают курс по компасу. В момент траверза буя дается команда о перекладке руля и включается секундомер. Через 20—30 сек после прохождения траверза подсветка шкал направлений, отметка курса и НКД выключаются. В моменты поворота судна на 90° , 180° и 270° (определяются по компасу) замечают отсчеты секундомера. В момент окончания полной циркуляции останавливают секундомер. Через 20—30 сек после окончания циркуляции закрывают затвор фотоаппарата.

¹ Вопросы фотографирования экрана радиолокатора здесь не излагаются, так как они подробно освещены в книге Гамова А Г и Авербаха Н В. «Использование радиолокации в судовождении» Морской транспорт, 1960

После проявления пленки и получения фотоотпечатка (24×24 или 18×18 см) на нем будут зафиксированы кривая циркуляции (след эхосигнала от буя), неподвижные круги дальности, отметка курса, визир и неподвижная шкала направлений. Зная масштаб изображения (по расстояниям между кругами дальности) и имея отсчеты секундомера, с фотоснимка легко можно получить все элементы циркуляции.

Необходимо иметь в виду, что на снимке кривая будет изображена в сторону, обратную стороне действительного поворота.

Данный способ определения циркуляции нагляден и оставляет документальное свидетельство об элементах циркуляции.

Точность способа вполне достаточна для целей навигации и морской практики.

2. Определение элементов циркуляции с помощью картосличительной приставки «Пальма»

С помощью приставки «Пальма» можно просто и достаточно точно определить вид кривой циркуляции и ее элементы. Для этого на приставке «Пальма» устанавливают крупномасштабный планшет ($1 : 25\,000$) или чистый лист бумаги. Согласование масштаба радиолокационного изображения с масштабом планшета производится следующим образом. На планшете (листе бумаги) вычерчиваются в масштабе $1 : 25\,000$ concentрические окружности. Рукояткой «масштаб грубо» устанавливается первый поддиапазон (от $1 : 25\,000$ до $1 : 50\,000$). Рукояткой «масштаб плавно» совмещают масштабные кольца ИКО с concentрическими кольцами на планшете. Изображение на ИКО ориентируется по «норд».

Судно подходит к бую на расстояние 2—3 кбт и начинает описывать циркуляцию. В момент подачи команды на руль запускаются три секундомера и отмечается на планшете видимое положение буя. В момент начала поворота судна (определяется по компасу) останавливается один из секундомеров. Отсчет по этому секундомеру покажет величину мертвого промежутка. В этот же момент замечают отсчеты по двум остальным секундомерам и отмечают на планшете видимое положение буя. Затем через равные промежутки времени (10—15 сек) отмечают на планшете видимые положения

буя, и при каждой отметке записывают курс по гирокомпасу и крен по кренометру. В момент прихода судна на обратный курс останавливают второй секундомер, а когда судно придет на первоначальный курс, останавливают третий секундомер. Соединив полученные точки плавной кривой, получают кривую циркуляции судна, с которой снимают все необходимые данные. При каждой точке проводят отрезок прямой по соответствующему KK_r , указывающему положение диаметральной плоскости и определяют угол дрейфа на циркуляции θ_c° .

3. Приближенный способ определения элементов циркуляции с помощью радиолокатора

При необходимости определить диаметр циркуляции в открытом море до подхода к узкости, можно воспользоваться следующим простым приемом.

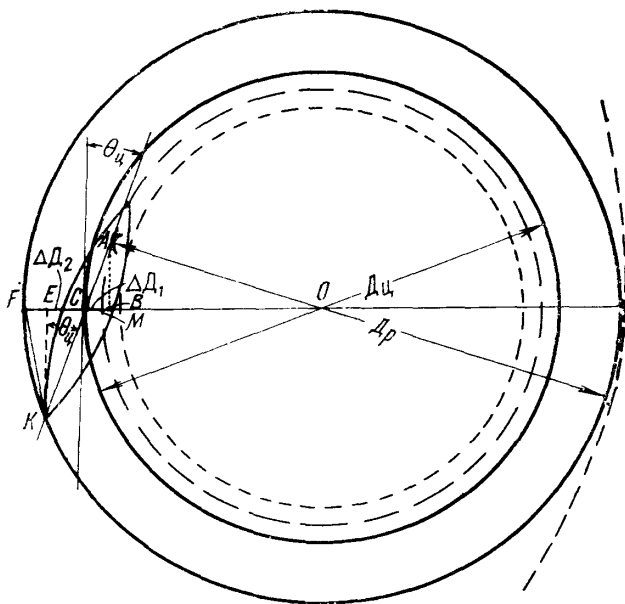


Рис. 20

Известно, что на экране радиолокатора при спокойном состоянии моря хорошо изображается кильватерная

струи за кормой судна. Из этого вытекает простой способ определения диаметра циркуляции. Судно должно совершить поворот (лучше на 360°), после чего штурману необходимо измерить расстояние до наиболее удаленной точки эхосигналов от взволнованной судном на циркуляции поверхности моря. В момент измерения, плавно регулируя ПКД, точно совмещают его с передней кромкой эхосигнала (рис. 20). Для получения диаметра циркуляции измеренное расстояние необходимо исправить двумя поправками по формуле

$$D_{\text{ц}} = D_{\text{р}} + \Delta D_1 - \Delta D_2 = D_{\text{р}} + AC \sin \theta_{\text{ц}} - CK \sin \theta_{\text{ц}}, \quad (43)$$

где AC — расстояние между антенной РЛС и центром тяжести судна;

CK — расстояние между центром тяжести судна и кормовым срезом по ватерлинии;

$\theta_{\text{ц}}$ — угол дрейфа на циркуляции.

Если угол дрейфа невелик (не более нескольких градусов) или неизвестен, то можно приближенно принять $D_{\text{ц}} = D_{\text{р}}$.

Целесообразность применения данного способа на судах морского флота должна быть практически проверена.

4. Определение элементов циркуляции по двум горизонтальным углам

Для определения элементов циркуляции по двум горизонтальным углам выбирается район, где имеются три хорошо видимых береговых знака (рис. 21), причем угол пересечения линий положения в районе наблюдений не должен быть менее 30° и более 150° . Для проведения работ необходимо иметь два хорошо выверенных секстана. Порядок работы при испытаниях такой же, как и при определении элементов циркуляции с помощью радиолокатора.

Только места судна на циркуляции определяются не по пеленгу и расстоянию, а по двум углам. Для этого два наблюдателя с секстанами должны одновременно измерять углы в момент подачи команды о повороте, в момент начала поворота и затем через каждые 20—

Схема записей наблюдений при определении элементов циркуляции по двум горизонтальным углам

Судно _____ Дата _____ Район наблюдений _____

Использованные для наблюдений объекты

Состояние моря	Глубина	Ветер
----------------	---------	-------

Отстояние форштевня от места наблюдателя _____

Отстояние ахтерштевня от места наблюдателя

Скорость, узлы	Положение руля	Момент	Курс по типо- компасу	Горизонтальные узлы						Диаметр циркуляции	Тактиче- ский L , м	Установив- шийся L , м	Полученный цир- куляции T_{180} , мин, сек	Легенд цирку- ляции T_{180} , мин, сек	Угол дрейфа, Θ°	Угол крена, $^\circ$
				α°			β°									
				отсчет секстанта	пореш- ность ин- декса ?	угол	отсчет секстанта	пореш- ность ин- декса ?	угол							
												</				

30 сек (в зависимости от натренированности наблюдателей). Одновременно замечаются компасный курс по гидрокомпасу и угол крена.

По окончании работ строят кривую циркуляции и определяют элементы циркуляции. Для этого на лист бумаги наносят средний береговой знак, а также

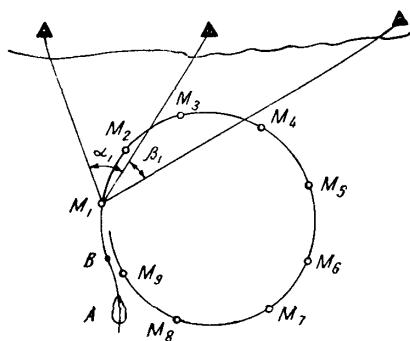


Рис. 21

крайние знаки по пеленгу и расстоянию от него, снятым с карты, в произвольно выбранном, но достаточно крупном масштабе. После чего протрактором или с помощью кальки наносят места судна в моменты наблюдений и соединяют их плавной кривой. Построив кривую циркуляции, определяют ее диа-

метр, период циркуляции, угол дрейфа и т. д.

При проведении наблюдений рекомендуется записи производить по схеме, приведенной на стр. 61.

5. Определение тактического диаметра циркуляции по створу и горизонтальным углам

Если судоводителю достаточно определить только тактический диаметр и период циркуляции, то можно воспользоваться следующим способом.

Выбирают для работы такой район, в котором имеется на берегу створ и недалеко от него хорошо видимый предмет, нанесенный на карту (рис. 22). Приготавливают для наблюдений секстан.

Судно ложится на курс, перпендикулярный створу, и развивает необходимую скорость хода. При подходе к створу подается команда «товсь», по которой наблюдатель с секстаном начинает совмещать в поле зрения трубы передний (или задний) створный знак с выбранным предметом. В момент пересечения створа (точка А) подается команда «ноль», по которой судно начинает поворот. В этот момент пускают секундомер и измеряют горизонтальный угол α_1 . Когда судно придет на обрат-

Тактический диаметр циркуляции может быть рассчитан также по формуле

$$D_{\text{ц}} = d (\operatorname{ctg} \alpha_2 - \operatorname{ctg} \alpha_1), \quad (44)$$

где d — расстояние от выбранного предмета до линии створа.

6. Определение элементов циркуляции с помощью шлюпки

Основные элементы циркуляции могут быть с достаточной точностью определены с помощью свободно плавающей шлюпки, с которой производится измерение секстаном вертикальных углов мостика (фокмачты и т. п.) над ватерлинией.

Порядок работ при этом способе следующий.

Судно развивает необходимую скорость хода и ложится на курс с расчетом пройти мимо шлюпки в расстоянии 2—3 кбт.

Когда шлюпка окажется на траверзе судна, начинают поворот и запускают секундомер. В этот же момент наблюдатель в шлюпке измеряет вертикальный угол какой-либо части судна, высота которой предварительно определена (мостика, фокмачты и т. п.).

В момент прихода судна на обратный курс секундомер останавливают и, когда шлюпка снова окажется на траверзе судна, с нее второй раз измеряют вертикальный угол той же части судна.

О моментах измерения вертикальных углов наблюдатель на шлюпке должен быть извещен специальным сигналом (отмашка флагом, спуск флага и т. п.).

По окончании наблюдений исправляют отсчеты вертикальных углов поправкой индекса и, зная высоту h надстройки, по табл. 29а-МТ-53 находят расстояние от шлюпки до судна в моменты наблюдений. Если же $h < 10$ м, то следует расстояния находить по формуле

$$D_{\text{кбт}} = 18,6 \frac{h_{\text{м}}}{\alpha'} \quad (45)$$

Диаметр циркуляции определится по формуле

$$D_{\text{ц}} = D_2 - D_1.$$

по формуле

$$R_{\text{и}} = 57,3 \frac{S_{\text{л}}}{\alpha^{\circ}} \quad (46)$$

где $S_{\text{л}}$ — путь, пройденный судном по окружности за время t ;

α° — изменение курса судна за время t .

Наблюдения проводят следующим образом. Судно начинает описывать циркуляцию. Через 10—15 сек после начала циркуляции замечают компасный курс по гирокомпасу KK_{Γ_1} и отсчет $ол_1$.

Когда курс изменится на 50—100°, вторично замечают KK_{Γ_2} и $ол_2$.

Тогда

$$S_{\text{л}} = \rho ол \cdot \kappa_{\text{л}} \quad (47)$$

$$\alpha = KK_{\Gamma_2} - KK_{\Gamma_1} \quad (48)$$

Если второй отсчет лага $ол_2$ взять в момент, когда курс судна изменится на 57—58°, то

$$R_{\text{и}} = S_{\text{л}} = \rho ол \cdot \kappa_{\text{л}}$$

Рассмотренный способ является приближенным и может быть применен при невозможности определить элементы циркуляции более точным способом.

8. Определение тактического диаметра циркуляции с помощью «планширного» лага

Этот способ заключается в следующем. В момент подачи команды на руль запускается секундомер и с носа судна сбрасывается вешка (точка M_1 на рис. 23). После того, как судно повернет на обратный курс (точка C), останавливают секундомер и одерживают судно на этом курсе.

Когда вешка M_1 окажется на траверзе, сбрасывают вторую вешку M_2 . Расстояние M_1M_2 между сброшенными вешками является тактическим диаметром циркуляции.

Расстояние M_1M_2 можно измерить в длинах судна. Для этого судно должно сделать поворот с расчетом выйти на створ сброшенных вешек. Когда ахтерштевень,

судна поравняется с вешкой M_2 , с носа судна сбрасывается вешка M_3 . При прохождении ахтерштевня вешки M_3 с носа сбрасывают вешку M_4 и т. д. В момент, когда форштевень судна поравняется с вешкой M_1 , замечают положение последней сброшенной вешки по длине судна. Зная длину судна, можно найти затем диаметр циркуляции в метрах и кабельтовых.

Рассмотренный способ является приближенным.

9. Определение диаметра циркуляции с помощью точных радионавигационных систем

Для определения диаметра циркуляции могут быть применены фазовые радионавигационные системы, например «Декка» и др. Этот способ широко применяется за рубежом. Сущность его заключается в том, что во время циркуляции периодически (например, через 15—20 сек) снимаются отсчеты со счетчиков-фазометров. По

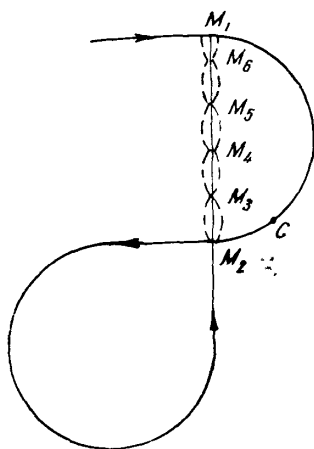


Рис. 23

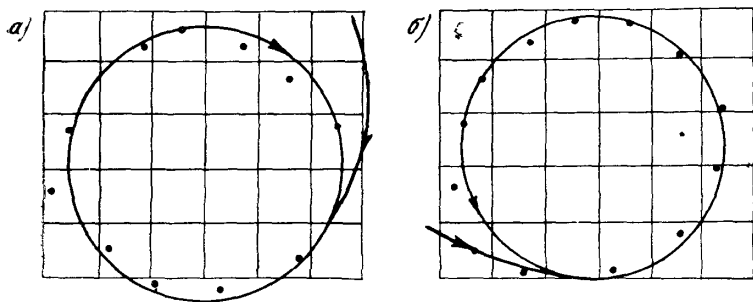


Рис. 24

показаниям счетчиков получают obserвованные точки, которые наносят на карту с сеткой изолиний. По этим точкам вычерчивается кривая циркуляции, с помощью

которой определяются необходимые элементы циркуляции.

Кривые циркуляции судна на полном ходу при положении руля 35° правого борта показаны на рис. 24, а, а 35° левого борта — на рис. 24, б.

ТАБЛИЦА ЦИРКУЛЯЦИИ И ЕЕ РАСЧЕТ

Для учета циркуляции при прокладке на каждом судне должны быть составлены таблицы циркуляции для различных скоростей хода и различных углов перекладки руля (при полной загрузке и в балласте)¹.

Таблицы циркуляции содержат следующие данные:

1) путь поворота S_α — расстояние, проходимое судном при повороте на угол α ;

2) время поворота t_α ;

3) промежуточный курс, характеризуемый величинами $\frac{\alpha}{2}$ и d , где $\frac{\alpha}{2}$ — курсовой угол промежуточного плавания, d — промежуточное плавание (расстояние между точками начала и конца поворота);

4) расстояние до нового курса от точки начала поворота d_1 .

Эти величины рассчитываются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} S_\alpha &= \frac{\pi R_{\text{п}}}{180^\circ} \alpha^\circ \\ \text{или} \quad S_\alpha &= \frac{\pi D_{\text{п}}}{360^\circ} \cdot \alpha^\circ. \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

Приняв $\pi \approx 3$, получим более простые формулы

$$\left. \begin{aligned} S_{10^\circ} &= \frac{D_{\text{п}}}{12} \\ S_{30^\circ} &= \frac{D_{\text{п}}}{4} \\ S_{50^\circ} &= 5 \frac{D_{\text{п}}}{12} \end{aligned} \right\} \quad (50)$$

и т. д.

¹ Циркуляция может быть учтена также по способу Андреева М. Н. (см. К. С. Ухов, Навигация, Водтрансиздат, 1954, стр. 173—174).

Таблица циркуляции при скорости хода 10 узлов
 $D_{11} = 3 \text{ кмт}, T_{180^\circ} = 3 \text{ мин.}$ $D_{11} = 4 \text{ кмт}, T_{180^\circ} = 4 \text{ мин}$

Рудь 30°					Рудь 20°				
расстояние до нового курса $d_1, \text{ кмт}$	промежуточный курс			Угол поворота, α°	время поворота $t, \text{ мин}$	путь поворота $s, \text{ кмт}$	промежуточный курс		расстояние до нового курса $d_1, \text{ кмт}$
	$d, \text{ кмт}$	длина	курсовой угол				курсовой угол	длина	
0,1	0,3	5	10°	0,2	0,3	5	0,3	0,2	
0,4	0,8	15	30°	0,7	1,0	15	1,0	0,5	
0,7	1,3	25	50°	1,1	1,7	25	1,7	0,9	
1,1	1,7	35	70°	1,5	2,4	35	2,3	1,4	
1,5	2,1	45	90°	2,0	3,1	45	2,8	2,0	
2,1	2,5	55	110°	2,4	3,7	55	3,3	2,9	
3,2	2,7	65	130°	2,9	4,5	65	3,6	4,3	
5,6	2,9	75	150°	3,3	5,2	75	3,9	7,5	
—	3,0	85	170°	3,8	5,9	85	4,0	—	
—	3,0	90	180°	4,0	6,3	90	4,0	—	
—	3,0	100	200°	4,4	7,0	100	3,9	—	
—	2,8	110	220°	4,9	7,7	110	3,8	—	
—	2,6	120	240°	5,3	8,4	120	3,5	—	
—	2,3	130	260°	5,8	9,1	130	3,1	—	
—	2,1	135	270°	6,0	9,4	135	2,8	—	
—	1,7	145	290°	6,4	10,1	145	2,3	—	
—	1,3	155	310°	6,9	10,8	155	1,7	—	
—	0,8	165	330°	7,3	11,5	165	1,0	—	
—	0,3	175	350°	7,8	12,2	175	0,3	—	
—	—	—	360°	8,0	12,6	—	—	—	

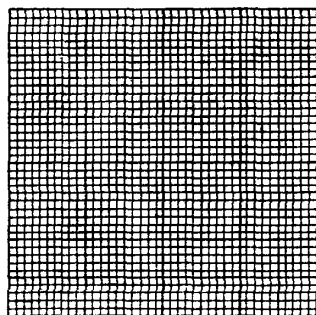
РАБОЧАЯ ТАБЛИЦА МАНЕВРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ П/Х, Т/Х

1. Таблица и график соответствия скорости хода и оборотов винта

Для судна
в полном грузу

Обо- роты винта <i>об/мин</i>	Скорость хода, узлы

N
Обороты винта в минуту, *об/мин*



Скорость, узлы

V

Для судна
в балласте

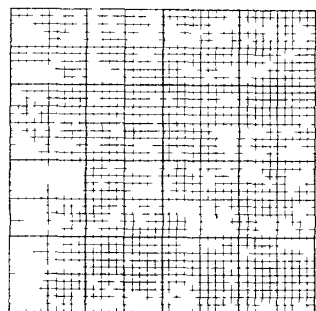
Обо- роты винта, <i>об/мин</i>	Скорость хода, узлы

2. Таблица и график поправок лага

Для судна
в полном грузу ΔL %

Ско- рость хода, узлы	ΔL %	κ_L

Поправка лага



Скорость, узлы

V

Для судна
в балласте

Ско- рость хода, узлы	ΔL %	κ_L

3. Инерция

Судно в балласте							Режим работы машин до перемены хода	Судно в полном грузу							
Вновь заданный режим работы машин								Вновь заданный режим работы машин							
Передний ход			Стоп	Задний ход				Задний ход			Стоп	Передний ход			
пол- ный	сред- ний	малый		пол- ный	сред- ний	малый		пол- ный	сред- ний	малый		пол- ный	сред- ний	малый	
							Передний ход	Полный							
								Средний							
								Малый							
								С т о п							
							Задний ход	Полный							
								Средний							
								Малый							

Примечание. В таблицу в виде дроби вносятся время и расстояние, пройденное судном по инерции.

4. Поворотливость

Судно в балласте				Ход	Судно в полном грузу			
Лево на борт		Право на борт			Лево на борт		Право на борт	
тактический диаметр циркуляции $D_{ц}$, <i>кбт/длины судна</i>	время поворота на 180°	тактический диаметр циркуляции $D_{ц}$, <i>кбт/длины судна</i>	время поворота на 180°		тактический диаметр циркуляции $D_{ц}$, <i>кбт/длины судна</i>	время поворота на 180°	тактический диаметр циркуляции $D_{ц}$, <i>кбт/длины судна</i>	время поворота на 180°
				Полный				
				Средний				
				Малый				

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербах Н. В., Баранов Ю. К. Определение маневренных элементов морского судна и поправки лага. Изд-во «Морской транспорт», Л., 1957.
 2. Быков В. И., Никитенко Ю. И. Фазовая радионавигационная система «Декка-навигатор». Изд-во «Морской транспорт», М., 1961.
 3. «Бюллетень Главного ревизора по безопасности мореплавания», № 6. Изд-во «Морской транспорт», М., 1957.
 4. Гамов А. Г., Авербах Н. В. Использование радиолокации в судовождении. Изд-во «Морской транспорт», М., 1960.
 5. Павленко Г. Е. Сопротивление воды движению судов. Изд-во «Морской транспорт», М., 1956.
 6. Поздунин В. Л. Энциклопедия судостроения, часть 2. Изд-во «Судпромгиз», М., 1951.
 7. Статьи из журналов «Морской флот», «Морской сборник» и др.
 8. Шифрин Л. С. Использование каргосличительной приставки «Пальма» в судовождении. Изд-во «Морской транспорт», Л., 1960.
-

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
Понятие об основных маневренных элементах	4
Общие сведения о мерных линиях	5
Влияние различных факторов на скорость судна	7
1. Влияние изменения осадки судна	—
2. Влияние обрастания корпуса судна	8
3. Влияние крена	9
4. Влияние дифферента	10
5. Влияние рыскания	—
6. Влияние изменения числа работающих винтов	11
7. Влияние мелководья	—
Исключение влияния течения при определении скорости хода судна и поправки лага на мерной линии	12
1. Скорость течения постоянна	—
2. Скорость течения изменяется равномерно	14
3. Скорость течения изменяется неравномерно	—
Определение скорости хода и поправки лага на мерной линии	15
Выбор необходимой длины пробега при определении по- правки лага и скорости хода судна на мерной линии	29
Определение скорости хода и поправки лага с помощью радиолокатора	32
Выбор необходимой длины пробега при определении по- правки лага и скорости хода судна с помощью ра- диолокатора	35
Определение скорости хода и поправки лага с помощью других радионавигационных систем	39
1. Скоростные испытания при использовании даль- мерных систем (радиолаг, радиодальномер и т. п.)	40
2. Скоростные испытания при использовании точных гиперболических радионавигационных систем (фазо- вый зонд, Декка и т. п.)	41
Проверка поправки лага в условиях плавания	42
Инерция судна и ее определение	47
Циркуляция судна	51
Определение элементов циркуляции	53
1. Определение элементов циркуляции с помощью ра- диолокатора	54
2. Определение элементов циркуляции с помощью кар- тослиточной приставки «Пальма»	58
3. Приближенный способ определения элементов цир- куляции с помощью радиолокатора	59

4. Определение элементов циркуляции по двум горизонтальным углам	60
5. Определение тактического диаметра циркуляции по створу и горизонтальным углам	62
6. Определение элементов циркуляции с помощью шлюпки	64
7. Определение диаметра установившейся циркуляции с помощью лага	65
8. Определение тактического диаметра циркуляции с помощью «планширного» лага	66
9. Определение диаметра циркуляции с помощью точных радионавигационных систем	67
Таблица циркуляции и ее расчет	68
Приложение	71
Литература	74

Авторы *Николай Владимирович Авербах,*
Юрий Константинович Баранов

**Определение маневренных элементов морского судна
и поправки лага**

Редактор *А. Г. Гамов*

Техн. редактор *Н. П. Стульчикова.* Корректор *Р. В. Добринская*

М-03400. Сдано в набор 27/IV 1962 г. Подписано к печати 17/VII 1962 г.
 Формат бумаги 84×108¹/₃₂. 1,94 бум. л. Усл. печ. л. 3,88.
 Уч.-изд. л. 3,76. Изд. № ПТ/Л—707. Тираж 4500. Цена 19 коп
 Заказ № 481

7-я типография издательства «Морской транспорт».
 Ленинград, ул. К. Заслонова, 30.