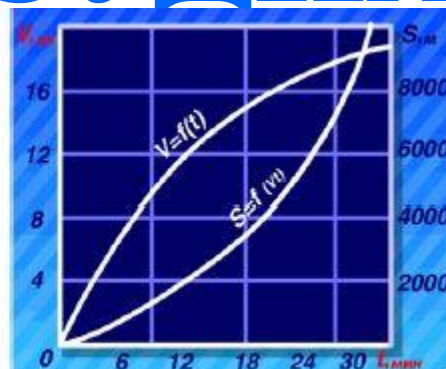
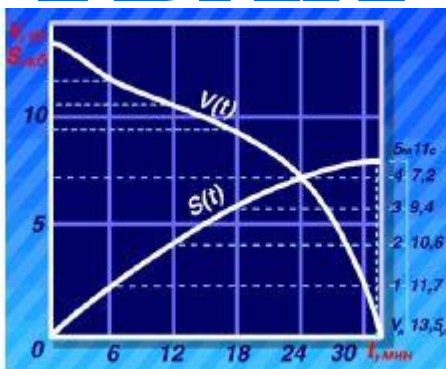
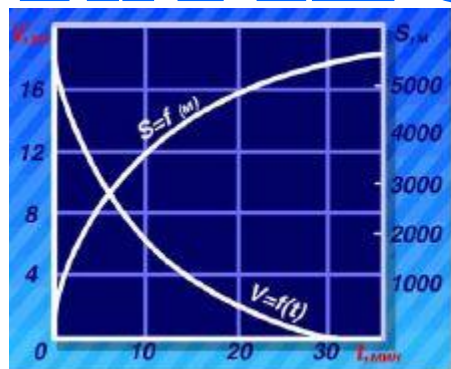


ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЕРЦИОННО- ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВАХ СУДНА



Компетенция :

«Маневрирование судна»

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЕРЦИОННО- ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВАХ СУДНА

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Тяга винта.
2. Сопротивление воды движению судна.
3. Инерция судна и присоединенных масс воды.
4. Силы, действующие на судно при прямолинейном движении.
5. Реверсирование ДВС – ВФШ.
6. Реверсирование ДВС – ТЗА.
7. Реверсирование ДВС – ГЭД.
8. Реверсирование ВРШ.
9. Градация ходов судна.
10. Торможение судна. Периоды торможения.
11. Торможение с помощью якорей.
12. Экстренное торможение с помощью переключков руля.
13. Аварийное использование якоря в различных условиях.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЕРЦИОННО-ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВАХ СУДНА

Тяга винта.

Чтобы судно двигалось с определенной скоростью, к нему необходимо приложить Движущую силу, преодолевающую сопротивление движению. Полезная мощность, необходимая для преодоления сопротивления, определяется формулой :

$N_p = R V$, где R – сила сопротивления; V - скорость движения.

Движущая сила создается работающим винтом, который, как и всякий механизм, часть энергии тратит непроизводительно. Затрачиваемая мощность на вращение винта составляет: $N_z = M n$, где M - момент сопротивления вращению винта; n - частота вращения винта.

Отношение полезной мощности к затрачиваемой называется пропульсивным коэффициентом комплекса корпус-двигатель:

$$\eta = RV / M n$$

Пропульсивный коэффициент характеризует потребность судна в энергии, необходимой для поддержания заданной скорости движения. Мощность же силовой установки (эффективная мощность N_e) судна должна быть больше затрачиваемой мощности на вращение винта, поскольку имеются потери в валопроводе и редукторе:

$$N_e = RV / \eta \eta_v \eta_r,$$

где η_v , η_r - коэффициенты полезного действия валопровода и редуктора. Поскольку при равномерном прямолинейном движении сила тяги винта равна силе сопротивления, приведенную формулу можно использовать для ориентировочной оценки тяги винта в режиме полного хода (V_0):

$$P_e = N_e \eta \eta_v \eta_r / V_0,$$

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЕРЦИОННО-ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВАХ СУДНА

где пропульсивный коэффициент определяется по формуле Лаппа:

$$\eta = 0,885 - 0,00115n\sqrt{L}$$

где L - длина судна между перпендикулярами.

Максимальная тяга винта развивается в швартовном режиме - примерно на 10% больше тяги винта в режиме полного хода.

Сила тяги винта при работе на задний ход примерно составляет 70-80% от тяги винта в режиме полного хода.

Сопротивление движению судна.

Вода обладает свойствами вязкости и весомости, которые вызывают два вида сопротивления при движении судна: вязкостное и волновое. Вязкостное сопротивление имеет две составляющих: трения и формы. Сопротивление трения зависит от площади и шероховатости смоченной поверхности корпуса. Сопротивление формы зависит от обводов корпуса. Волновое сопротивление связано с образованием судовых волн при взаимодействия корпуса движущегося судна с окружающей его водой. Для решения практических задач сопротивление воды движению судна принимают пропорциональным квадрату скорости:

$$R = k V^2 ,$$

где k - коэффициент пропорциональности, зависящий от осадки судна и степени обрастания корпуса.

Как указано в предыдущем разделе, силу сопротивления на полном ходу можно рассчитать по следующей формуле:

$$R_o = N_e \eta_{\text{пв}} \eta_{\text{пр}} / V_o.$$

Промежуточные значения сопротивления (R) для любой скорости хода определяются:

$$R = R_o \left(\frac{V}{V_o} \right)^2$$

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЕРЦИОННО-ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВАХ СУДНА

Инерция судна и присоединенных масс воды.

Равенство сил сопротивления среды движению судна и тяги винта определяет равномерное поступательное движение судна. При изменении частоты вращения винта это равенство сил нарушается. С увеличением тяги скорость судна возрастает, с уменьшением - падает. Изменение скорости происходит продолжительное время, до тех пор, пока не будет преодолена инерция судна и силы тяги винта и сопротивления не уравниются вновь. Мерой инерции является масса. Однако инерция судна, движущегося в водной среде, зависит не только от массы самого судна. Корпус судна вовлекает в движение прилегающие к нему частицы воды, на что тратится дополнительная энергия. В результате, чтобы придать судну некоторую скорость потребуется более длительная работа силовой установки. При торможении необходимо погасить не только кинетическую энергию, накопленную судном, но и энергию вовлеченных в движение частиц воды. Такое взаимодействие частиц воды с корпусом аналогично увеличению массы судна. Эта добавочная масса (присоединенная масса воды) у транспортных судов составляет от 5 до 10 % от их водоизмещения при продольном движении судна и примерно 80% от водоизмещения при поперечном перемещении.

Силы, действующие на судно при прямолинейном движении

При отсутствии ветра и прямом положении руля первое дифференциальное уравнение движения судна можно представить в виде:

$$M_x \frac{dV}{dt} = -R \pm P,$$

где M_x - масса судна с учетом присоединенной массы воды.

Равномерное движение: ускорений нет, поэтому инерционная сила $M_x dV/dt=0$. На судно действуют две равные и противоположно направленные силы: сила сопротивления воды и сила тяги винта.

При изменении силы тяги винта нарушается равенство сил тяги винта и сопротивления движения судна; это вызывает появление инерционных сил, появляется ускорение и судно начинает двигаться ускоренно или замедленно. Инерционные силы направлены против ускорения, т.е. препятствуют изменению скорости движения.

При увеличении силы тяги на судно действует 3 силы:

сила тяги винта - вперед, сила сопротивления - назад, сила инерции - назад.

При уменьшении силы тяги : сила тяги - вперед; сила сопротивления - назад; сила инерции - вперед

При маневре стоп: сила сопротивления - назад; сила инерции - вперед;

При реверсе: а) до остановки судна: сила сопротивления - назад; сила тяги - назад; сила инерции – вперед.

б) после остановки и начале движения назад: сила сопротивления - вперед; сила тяги - назад; сила инерции - вперед.

Примечание: вперед - направление к носу судна; назад - направление к корме судна

ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА

Для изменения скорости движения судна приходится изменять частоту вращения винта (винтов), а иногда и изменять направление вращения, т. е. выполнять реверсирование. Способ выполнения этих операции зависит от типа пропульсивного комплекса двигатель — движитель.

Наибольшее распространение на морских судах в качестве главных двигателей имеют: двигатели внутреннего сгорания (ДВС), турбозубчатые агрегаты (ТЗА) и гребные электродвигатели (ГЭД). В качестве движителей используются ВФШ и ВРШ, образующие пропульсивные комплексы: ДВС-ВФШ, ТЗА-ВФШ, ГЭД-ВФШ, а также любой двигатель-ВРШ.

РЕВЕРСИРОВАНИЕ ДВС-ВФШ

Реверсирование ДВС-ВФШ. Если на теплоходе установлен ДВС, напрямую связанный с гребным валом, то чтобы выполнить реверс, сначала закрывается подача топлива на ДВС. Затем, когда обороты снизятся, из пусковых баллонов в цилиндры подается воздух, проворачивающий двигатель в обратном направлении, после этого впрыскивается топливо, которое в результате сжатия воспламеняется и происходит запуск двигателя на топливе.

На большинстве теплоходов характерен замедленный реверс при торможении с полного переднего хода. Это объясняется тем, что давление контрвоздуха, подаваемого при реверсе в цилиндры, оказывается недостаточным для преодоления момента, приложенного к винту со стороны набегающего потока воды. Для большинства ДВС уверенный реверс возможен лишь тогда, когда обороты переднего хода вращающегося в турбинном режиме винта (после прекращения подачи топлива) снизятся до значения 25–35 % от оборотов полного переднего хода, что соответствует снижению скорости судна примерно до значения 60–70 % от скорости полного переднего хода. При этом судно длительное время движется по инерции и успевает пройти значительный путь, нередко намного превышающий путь, проходимый судном после запуска двигателя на задний ход.

РЕВЕРСИРОВАНИЕ ТЗА-ВФШ

Реверсирование ТЗА-ВФШ. На турбоходах при торможении используется турбина заднего хода, мощность которой составляет примерно 50 % мощности турбины переднего хода (обе турбины имеют общий вал). Для выполнения реверса с помощью маневрового клапана перекрывается пар на сопла турбины переднего хода и открывается на сопла заднего хода.

Необходимо учитывать, что ротор турбины вращается с частотой порядка нескольких тысяч оборотов в минуту, поэтому его остановка с помощью контрпара, подаваемого на лопатки турбины заднего хода, не может быть выполнена мгновенно. Тем не менее реверс турбины с полного переднего хода выполняется значительно быстрее, чем на теплоходах, обычно не более чем за 1 мин, но упор винта на заднем ходу сравнительно невелик. Благодаря указанным свойствам тормозные пути турбоходов при торможении с полного переднего хода обычно бывают того же порядка, что и на теплоходах при прочих равных условиях. Однако при малых начальных скоростях тормозные характеристики турбоходов из-за малой мощности турбины заднего хода значительно хуже, чем у теплоходов*.

РЕВЕРСИРОВАНИЕ ГЭД-ВФШ

Реверсирование ГЭД-ВФШ. Существуют различные типы электроприводов на постоянном и переменном токе. Судовые энергетические установки электроходов обычно состоят из нескольких дизель- или турбогенераторов, питающих гребные электродвигатели, что позволяет оперативно варьировать мощностями в зависимости от конкретных условий работы судна. Особенно удобны электроприводы на многовинтовых ледоколах и других судах специального назначения, условия работы которых изменяются в широких пределах.

Реверсирование электродвигателей осуществляется коммутацией питающего напряжения. Тормозные характеристики электроходов обычно несколько лучше, чем теплоходов.

РЕВЕРСИРОВАНИЕ ВРШ

Реверсирование ВРШ. Изменение направления упора ВРШ происходит в результате поворота лопастей винта без изменения направления вращения двигателя и без снижения частоты вращения.

Эффективность ВРШ при торможении существенно зависит от скорости срабатывания привода поворота лопастей. Механизмы поворота лопастей современных ВРШ, управляемые с мостика, позволяют изменить шаг винта с полного переднего на полный задний ход за 5–10 с, что обеспечивает резкое уменьшение тормозного пути. Суда с такими приводами обладают наилучшими реверсивными характеристиками.

Винт в направляющей насадке по сравнению с аналогичным винтом без насадки при одинаковой частоте вращения создает силу упора при торможении приблизительно на 15 % меньше.

ГРАДАЦИЯ ХОДОВ

Самый малый передний ход (Dead slow ahead) – минимальные устойчивые обороты, при которых двигатель не глохнет ($\approx 25\%$ ППХ).

Малый передний (Slow ahead) – обороты двигателя, устанавливаемые после диапазона критических оборотов, и соответствующая им скорость хода судна ($\approx 50\%$ ППХ).

Средний передний ход (Half ahead) – обороты двигателя, при которых обеспечивается половина мощности двигателя (подача топлива на середине) и соответствующая им скорость хода судна ($\approx 75\%$ ППХ).

Полный передний маневренный ход (Full maneuvering ahead) – полные обороты двигателя при работе на легком топливе (дизельное топливо) в маневренном режиме ($\approx 90\%$ ППХ).

Полный передний ход ходового режима (Full ahead for sea) – номинальные полные обороты двигателя при работе на тяжелом топливе – мазуте, при которых двигатель может работать «вечно» при должном техническом обслуживании, и соответствующая им скорость хода.

Самый полный передний ход (Emergency full ahead or full ahead overall) – кратковременный режим работы двигателя, который может быть применен в практике управления судном только в аварийных ситуациях.

Градация ходов на задний ход аналогична переднему, только слово *передний (ahead)* необходимо заменить на *задний (astern)*.

Винт рассчитан только для работы на передний ход, поэтому характеристики заднего хода отличаются от переднего. Упор заднего хода не менее чем на 10% меньше переднего, а у дизельных двигателей мощность заднего хода может достигать 60% переднего. На судах с турбиной имеются специальные турбины заднего хода, но и их мощность меньше на 30 – 40 % турбины переднего хода.

ТОРМОЖЕНИЕ СУДНА

Торможение судна. Тормозные характеристики судна, под которыми подразумеваются время и путь торможения в зависимости от начальной скорости, имеют важное значение для обеспечения безопасности мореплавания.

Торможение бывает пассивным и активным.

Пассивное торможение выполняется при остановленном двигателе только за счет сопротивления воды.

Активное торможение обеспечивается за счет реверсирования главного двигателя, после чего создается сила упора винта назад.

Реверс главного двигателя не может быть выполнен мгновенно, поэтому активному торможению всегда предшествует участок пассивного.

В общем случае процесс торможения принято делить на три периода.

ТОРМОЖЕНИЕ СУДНА

Первый период — прохождение команды продолжается от момента подачи команды по машинному телеграфу до момента закрытия топлива на ДВС, пара на ТЗА или выключения питания ГЭД. Первый период длится недолго, примерно 5 с.

Второй период — пассивное торможение длится с момента прекращения подачи топлива (пара) на двигатель до момента реверса.

Третий период — активное торможение длится с момента реверса до момента полной остановки судна или снижения скорости до какого-то заданного значения.

Полное время T и полный тормозной путь S определяются как суммы соответствующих элементов по трем периодам:

$$\left. \begin{aligned} T &= t^I + t^{II} + t^{III} \\ S &= s^I + s^{II} + s^{III} \end{aligned} \right\}, \quad (2.16)$$

где римскими цифрами в индексах указаны периоды торможения.

На судах с ВРШ началом третьего периода можно считать момент прохождения лопастями нулевого положения.

ТОРМОЖЕНИЕ СУДНА

Обработка результатов натурных испытаний, выполненных на различных судах, позволила получить следующие выводы.

1. Характер снижения скорости при пассивном торможении, выражаемый экспериментальными графиками $V(t)$, вполне удовлетворительно согласуется с квадратичной зависимостью силы сопротивления от скорости.

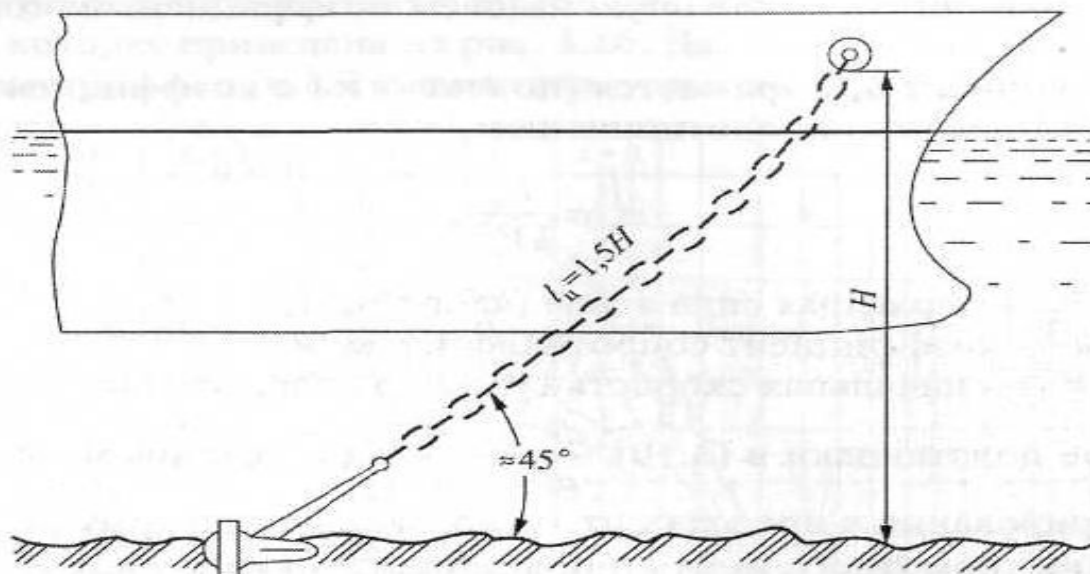
2. Оценка графиков $V(t)$ для активного торможения показывает, что эффективная сила упора винта после реверсирования от начального значения, близкого нулю, возрастает постепенно и достигает некоторого максимального значения к моменту остановки судна относительно воды.

ТОРМОЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЯКОРЕЙ

Торможение с использованием якорей, протаскиваемых по грунту. Если движение судна происходит в районе с небольшими глубинами (подходы к портам, фарватеры, каналы и т. п.), то в случае возникновения аварийной ситуации, требующей экстренного торможения, наряду с реверсированием двигателя на полный задний ход могут быть использованы для сокращения тормозного пути судовые якоря. В этом случае одновременно с командой о реверсировании двигателя подается команда об отдаче якоря или обоих якорей с указанием количества смычек, которое должно быть вытравлено в воду, после чего задержано ленточным стопором.

Дополнительный эффект от использования якорей при торможении зависит от их держащей силы, которая в свою очередь зависит от веса якоря, характера грунта и длины вытравленной якорной цепи.

ТОРМОЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЯКОРЕЙ



Для достижения наилучшего эффекта следует вытравливать минимальную длину якорной цепи, обеспечивающую держащую силу якоря при данном характере грунта. Вытравливание излишней длины цепи, скорее всего, увеличит полный тормозной путь, так как при этом полезное действие якоря наступит позднее. Кроме того, с увеличением длины вытравленной цепи возрастает вероятность ее обрыва из-за зарывания якоря в грунт.

Наилучший результат можно получить, если отдать два якоря с вытравливанием цепей на минимально требуемую длину.

Во всех случаях использования якоря при маневрировании необходимо учитывать возможность повреждения якорем обшивки днища, если отсутствует запас воды над килем.

ТОРМОЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЯКОРЕЙ

Среди других технических возможностей сокращения тормозных путей на больших глубинах особо следует отметить предложение проф. М. М. Лескова использовать для аварийного торможения вытравливание в воду якорей с 1,5–2 смычками цепи. Следует, однако, иметь в виду, что обычный брашпиль не приспособлен для быстрой и безопасной отдачи якорей в воду и уверенного задерживания цепей на большой скорости судна.

Специально проведенные за рубежом эксперименты с самоходными моделями при использовании тормозных щитов совместно с реверсом двигателя показали, что при изменении площади щитов в пределах 20–40 % от площади погруженной части мидель-шпангоута тормозной путь уменьшается на 6–25 %.

Приведенные цифры показывают, что дополнительные тормозные устройства не обеспечивают радикального решения проблемы уменьшения тормозного пути судов.

ЭКСТРЕННОЕ ТОРМОЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕКЛАДОК РУЛЯ

Торможение с использованием перекидок руля. Перекинутый на борт руль резко увеличивает общее лобовое сопротивление воды, что приводит к значительному снижению скорости судна, несмотря на то, что двигатель продолжает работать вперед в прежнем режиме. Особенно резкое снижение скорости наблюдается сразу же после перекидки руля, а затем, по мере входа судна в циркуляцию снижение скорости замедляется и постепенно скорость приходит к новому установившемуся значению.

Относительно быстрое прекращение тормозного эффекта объясняется, с одной стороны, некоторым увеличением силы упора винта за счет снижения скорости судна (уменьшение поступи винта), а с другой — уменьшением сопротивления на руле из-за косого натекания потока (эффективный угол перекидки руля уменьшается в связи с появлением и возрастанием угла дрейфа на циркуляции).

Эффект торможения можно продолжить, если после перекидки руля на один борт и поворота судна на угол примерно 20° перекинуть руль на противоположный борт. После этого косое натекание

ЭКСТРЕННОЕ ТОРМОЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕКЛАДОК РУЛЯ

потока, уменьшавшее до сих пор эффективный угол перекладки руля, приведет к его резкому увеличению (плоскость руля развернется поперек набегающего потока), что вызовет новое возрастание сопротивления и дальнейшее снижение скорости судна. Затем, когда поворот судна в направлении первоначальной перекладки руля будет остановлен, следует по машинному телеграфу уменьшить ход на одну ступень, т. е. с ПХП на СХП, чтобы предупредить отрицательный эффект увеличения упора винта из-за снижающейся скорости судна.

В дальнейшем описанный цикл операции повторяется, т. е. после поворота на первоначальный курс руль снова перекладывается на противоположный борт, а после сдерживания поворота режим работы двигателя снова снижается на одну ступень и т. д. В последнем цикле, когда телеграф будет находиться в положении «Самый малый вперед», при возвращении судна на первоначальный курс следует одновременно с перекладкой руля на противоположный борт поставить телеграф в положение «Полный назад» с тем, чтобы полностью остановить движение относительно воды. Судно обычно останавливается на небольшом расстоянии (порядка $0,5L$) от линии первоначального курса с той стороны, куда был переложен руль в начале маневра.

ЭКСТРЕННОЕ ТОРМОЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕКЛАДОК РУЛЯ

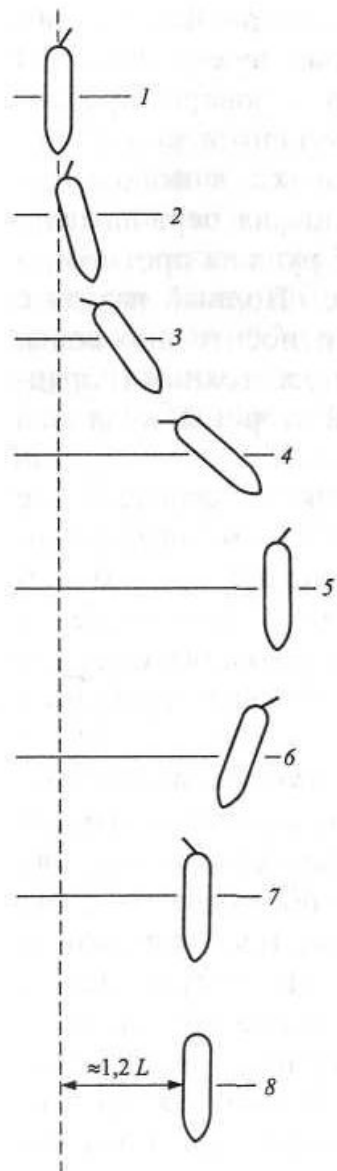


Рис. 3.17. Маневр экстренного торможения с использованием последовательных переключек руля:

- 1) начальный курс — лево на борт;
- 2) изменение курса влево на 20° — средний вперед;
- 3) изменение курса влево на 40° — право на борт;
- 4) максимальное отклонение влево — малый вперед;
- 5) начальный курс — лево на борт;
- 6) максимальное отклонение вправо — самый малый вперед;
- 7) начальный курс — право на борт — полный назад;
- 8) остановка судна — стоп машина

ЭКСТРЕННОЕ ТОРМОЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕКЛАДОК РУЛЯ

This manoeuvre was developed by B.S.R.A. with ESSO on the Esso Bernicia in 1972.

The advantage of "**Rudder Cycling**" is that it is **possible to keep control of the** steerage up to the last moment. However, it is efficient only **if the under keel clearance is at least 50%.**

The speed is reduced by introducing under water resistance:

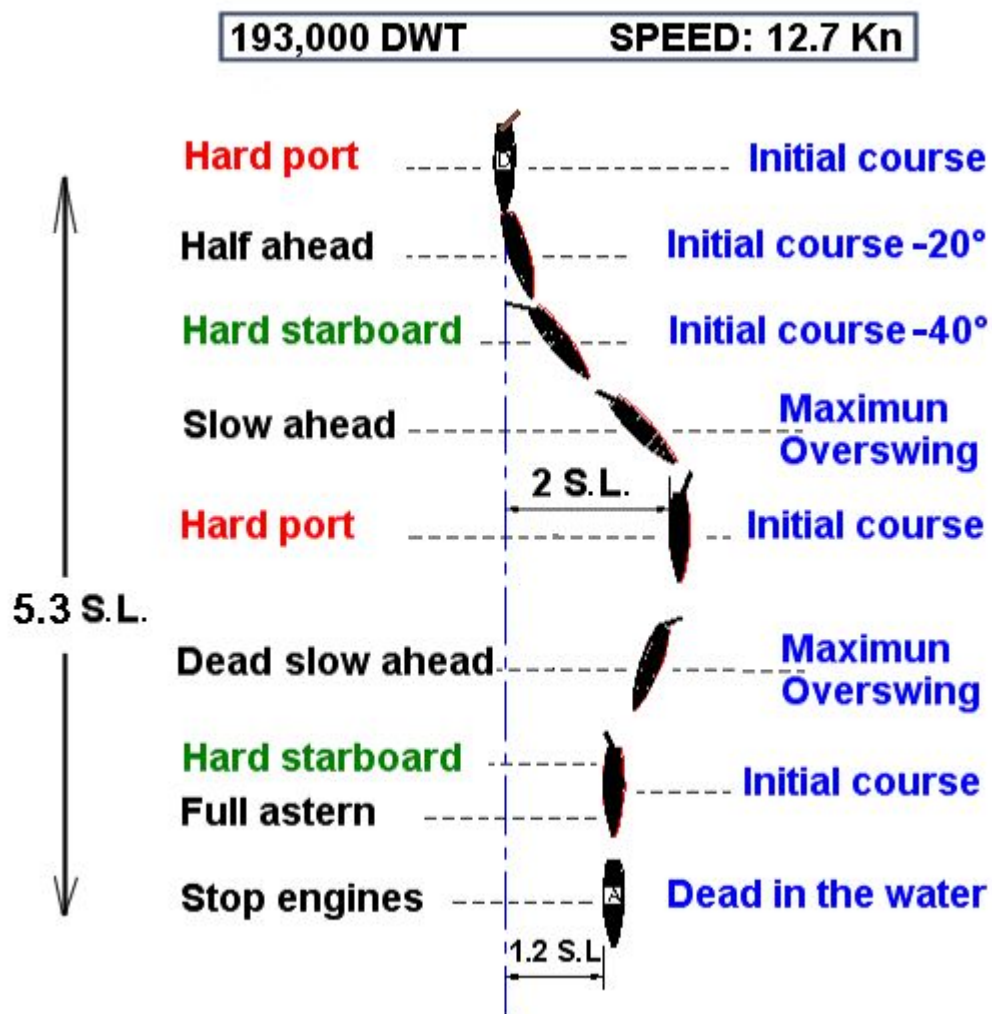
- by **fish tailing** - Rudder is always hard over on **either side,**

- by **yaws with a great rate of turn (skidding).**

In order to keep a good rudder force capable of giving a good rate of turn, the engine speed is reduced step by step and kept close to the ship's speed.

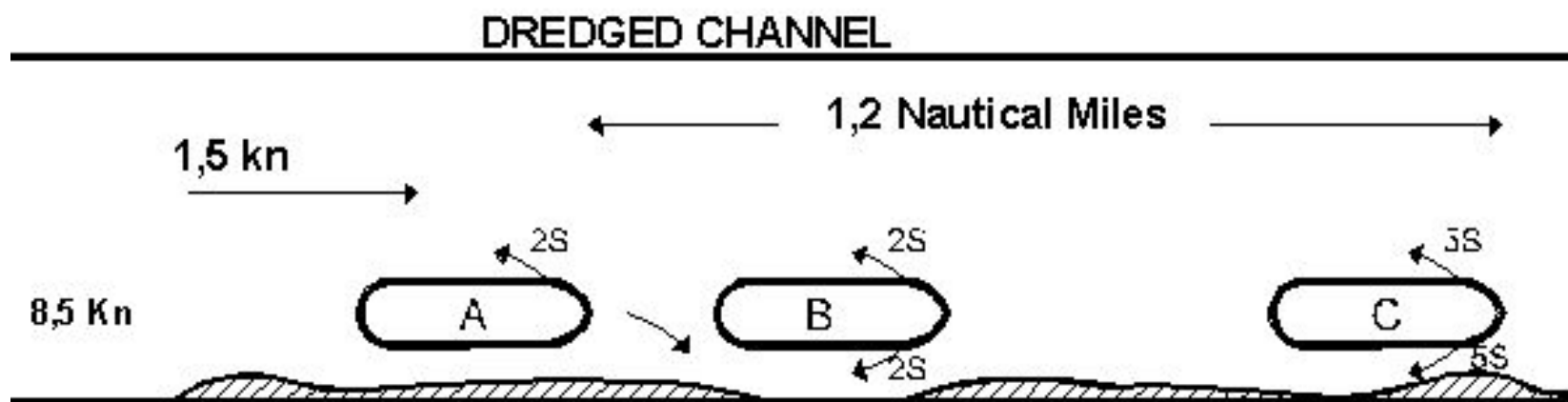
The procedure presented in this manual should be considered only as a guide and not as a strict procedure and this must be clearly indicated if posted on the bridge.

In practice, local conditions (space) and the traffic situation must first be considered and then rudder cycling started on either side, keeping in mind not to confuse and not to hinder the vessels in the vicinity.



АВАРИЙНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯКОРЯ

**Capt. HOFSTEE's (Rotterdam pilot) experience in a dredged channel with a 30 000 GRT ship (36 ft draft)
with engine black out at 8.5 kn with 1.5 kn current astern**



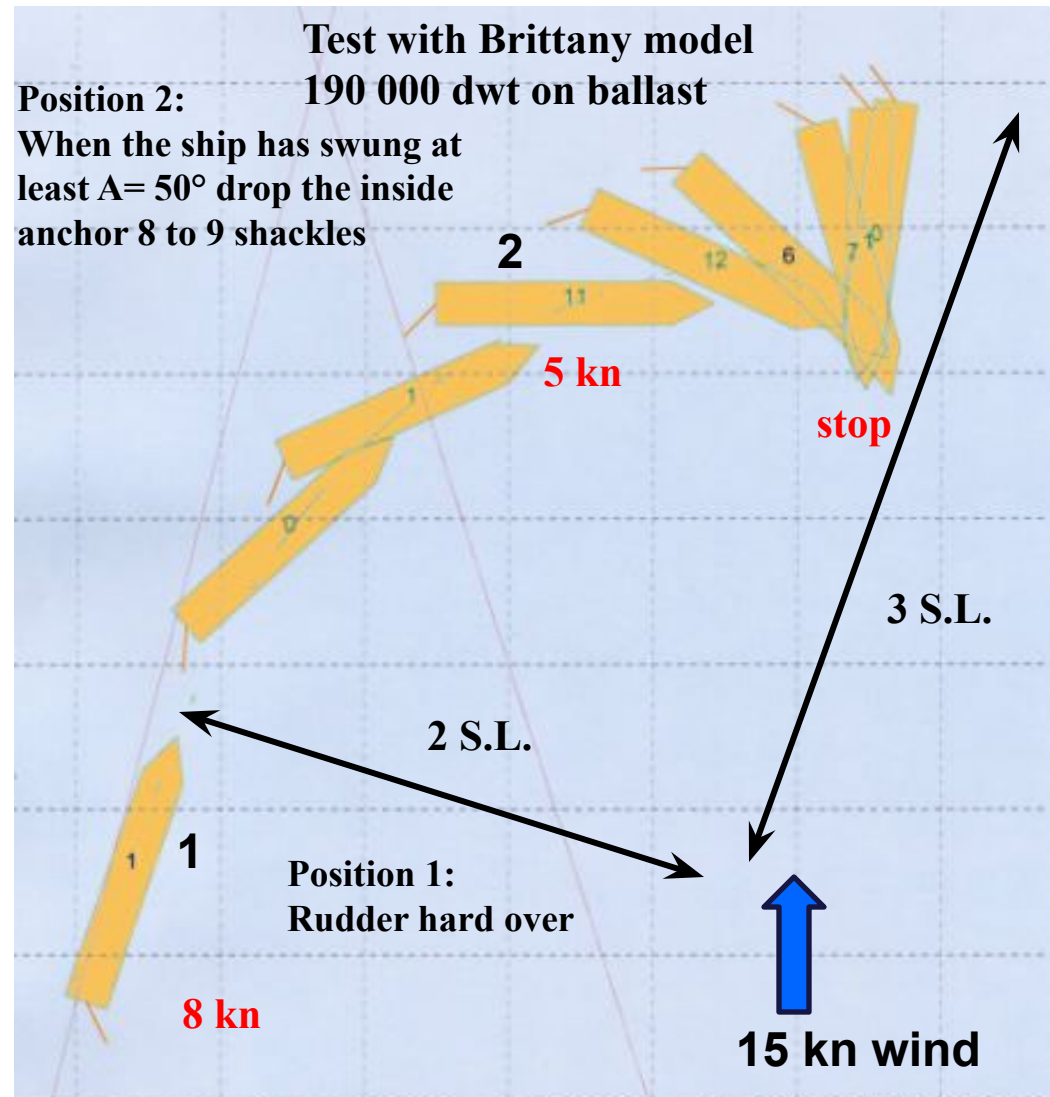
**A – Engines black-out, ship sheering slightly to starboard
At first dropped port anchor: 2 shackles**

**B – Ship steady
dropped starboard anchor: 2 shackles
and then slaked step by step, up to 5 shackles both sides**

C – Ship stopped over the ground within 1,2 Nautical Miles

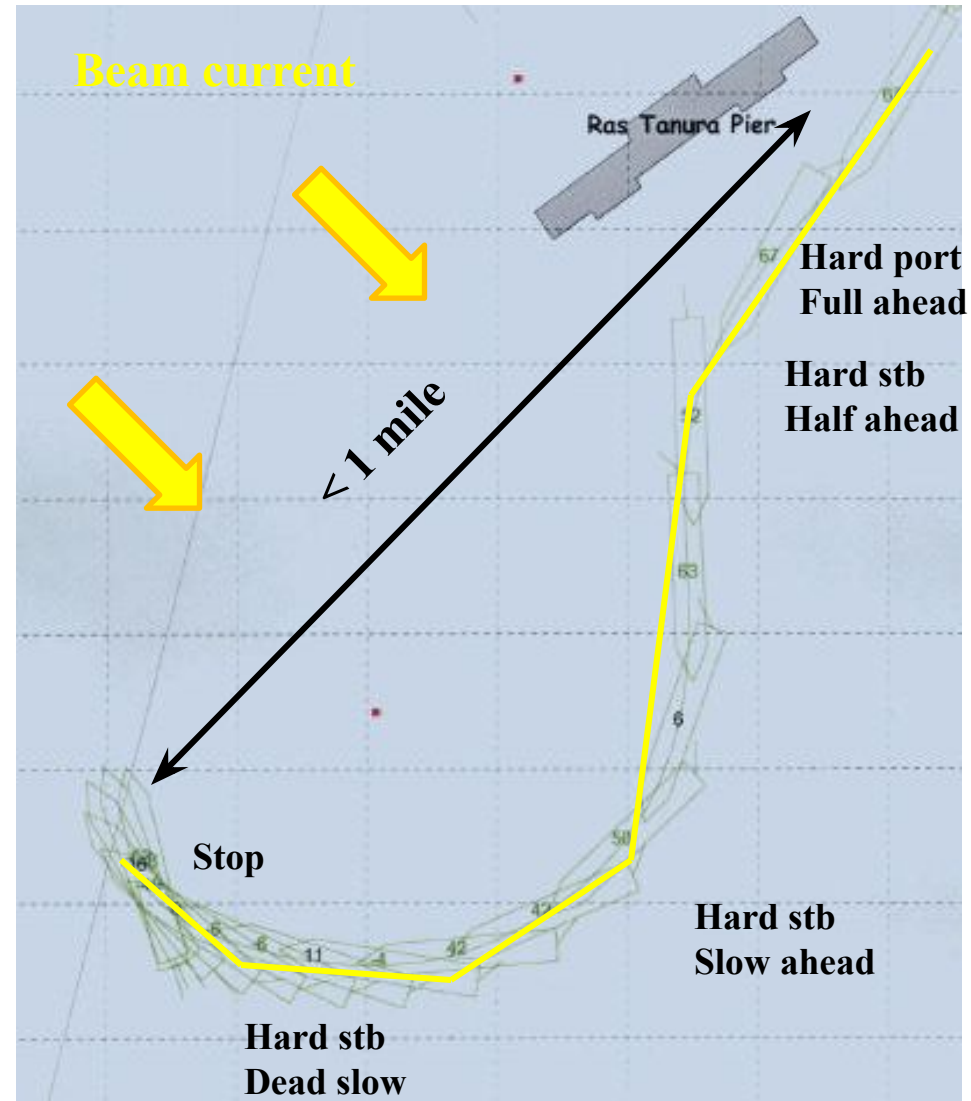
АВАРИЙНАЯ ОСТАНОВКА СУДНА ПРИ ОТКАЗЕ ГД С ИСПОДЬЗОВАНИЕМ ПРАВОГО ЯКОРЯ

Emergency Stop with
engine failure and
stern wind by heading
into the wind using
the underwater
resistance of the ship.



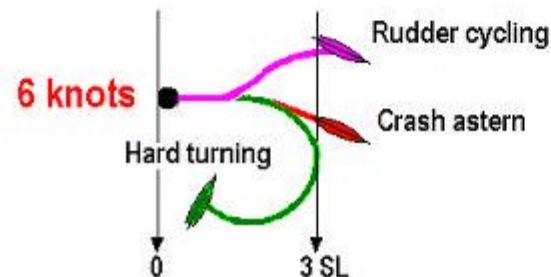
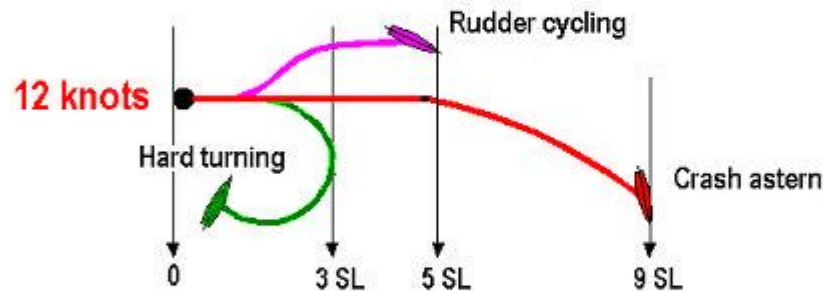
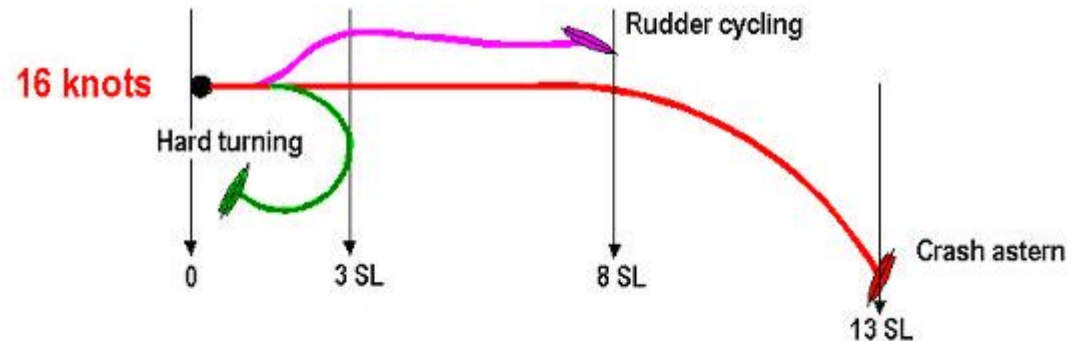
ОСТАНОВКА ПРИ БОКОВОМ ТЕЧЕНИИ МЕТОДОМ ПОВОРОТА ПРОТИВ ТЕЧЕНИЯ

Stopping for anchoring with a beam current by heading into the current.

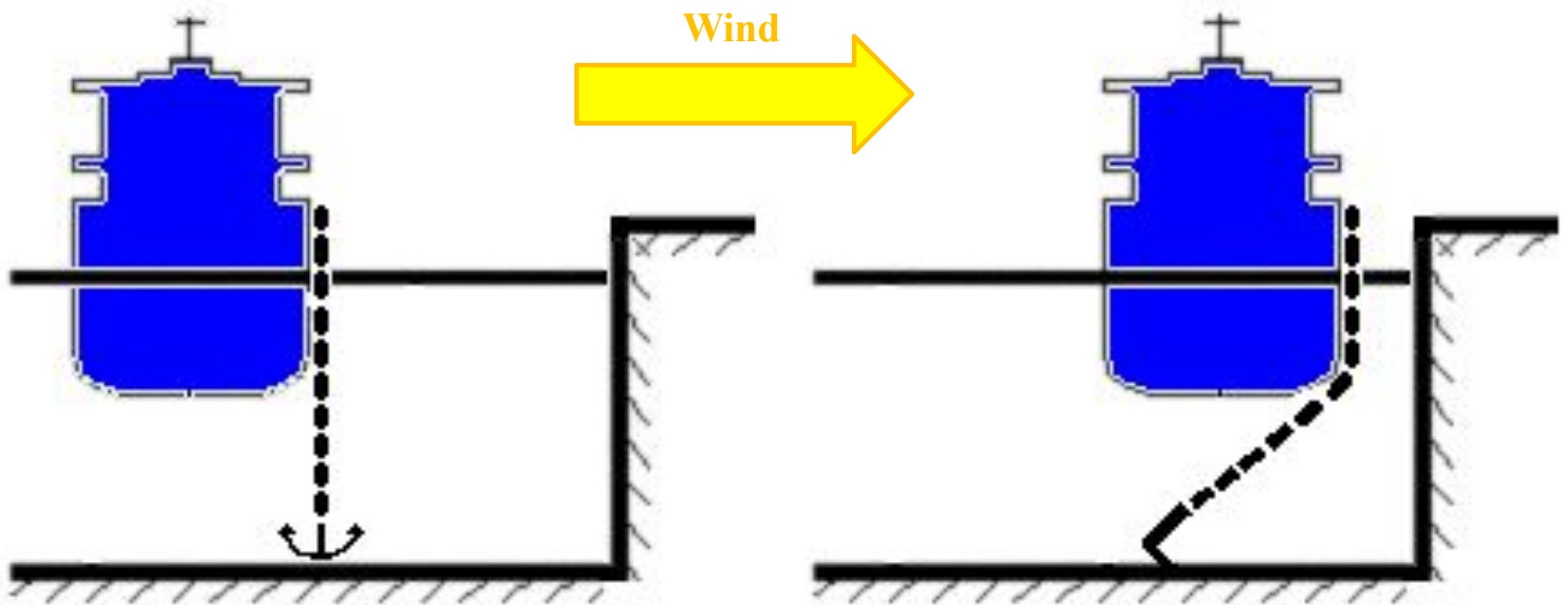


СРАВНЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ОСТАНОВКИ СУДНА

- Over 12 kn: if enough space side ways, the hard turning procedure is the best.
- Under 12 kn: if space is limited on both sides, use rudder cycling.
- Under 6 kn: the crash astern stop can be used.



АВАРИЙНАЯ ШВАРТОВКА



ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЕРЦИОННО-ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВАХ СУДНА

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое пропульсивный коэффициент ?
2. Из чего состоит сопротивление воды движению судна?
3. Каковы силы, действующие на судно при прямолинейном движении?
4. Как происходит реверсирование ДВС – ВФШ?
5. Как происходит реверсирование ДВС – ТЗА?
6. Как происходит реверсирование ДВС – ГЭД?
7. Как происходит реверсирование ДВС – ВРШ?
8. Дайте градацию ходов судна.
9. Каковы периоды торможения судна?
10. Опишите торможение с помощью якорей.
11. Опишите торможение с помощью переключков руля.

Используемая литература.

1. Демин С.И. Управление судном/Демин С.И., Жуков Е.И. и др. – М. : Транспорт, 1991. -359 с.
2. Лихачев А. Управление судном./ Лихачев А. - Владивосток. : Мор. Гос.ун-т, 2009. -503 с.
3. Sogreah -Port Revel Shiphhandling Course Manual 2005

Подготовил

Доцент кафедры УС и БЖД на море ХМГА

К.Д.П., К.Т.Н.

Товстокорый О.Н.