

УПРАВЛЯЕМОСТЬ СУДНА



Маневрирование – изменение направления движения и скорости судна под действием руля, движителей и других устройств (для безопасного расхождения, при швартовных и якорных операциях и т.п.)

Ходкость – способность судна преодолевать сопротивление воды и перемещаться с заданной скоростью под действием движителя.

Характеристика **ходкость** – величина не постоянная. Даже при постоянной величине подводимой на винт мощности ходкость зависит от состояния винта и корпуса судна (продавливание обшивки, обрастание и прочие факторы, влияющие на сопротивление).

ТЕРМИНЫ, СВЯЗАННЫЕ С УПРАВЛЯЕМОСТЬЮ

Управляемость - способность судна двигаться по заданной траектории, т. е. менять направление движения в соответствии с действиями управляющего устройства, установленного на судне.

Управляемость является качеством судна, зависящим от конструкции судна, загрузки, посадки, скорости движения и внешних условий (ветер, волнение, течение, глубина и ширина фарватера).

Задаваемая траектория может быть как прямолинейной, так и криволинейной, поэтому в управляемости выделяют такие качества как **устойчивость на курсе** и **поворотливость**.

Устойчивость на курсе - способность судна сохранять прямолинейное направление движения.

Поворотливость - способность судна изменять направление своего движения и описывать траекторию заданной кривизны.

Устойчивость на курсе и **поворотливость** находятся в противоречии друг с другом.

Чем устойчивее прямолинейное движение судна, тем труднее его повернуть, тем хуже **поворотливость**.



Чем выше **поворотливость**, тем легче боковая сила выводит судно из прямолинейного движения, что делает его движение в постоянном направлении неустойчивым.

В этом случае удержание судна на курсе связано с частой перекладкой руля, т.е. с напряженной работой рулевого или авторулевого.

Постоянные отклонения от прямолинейного движения и перекладки пера руля увеличивают сопротивление, чем снижают скорость и увеличивают расход топлива.

При проектировании судов стремятся найти оптимальное сочетание этих свойств в зависимости от назначения судна.

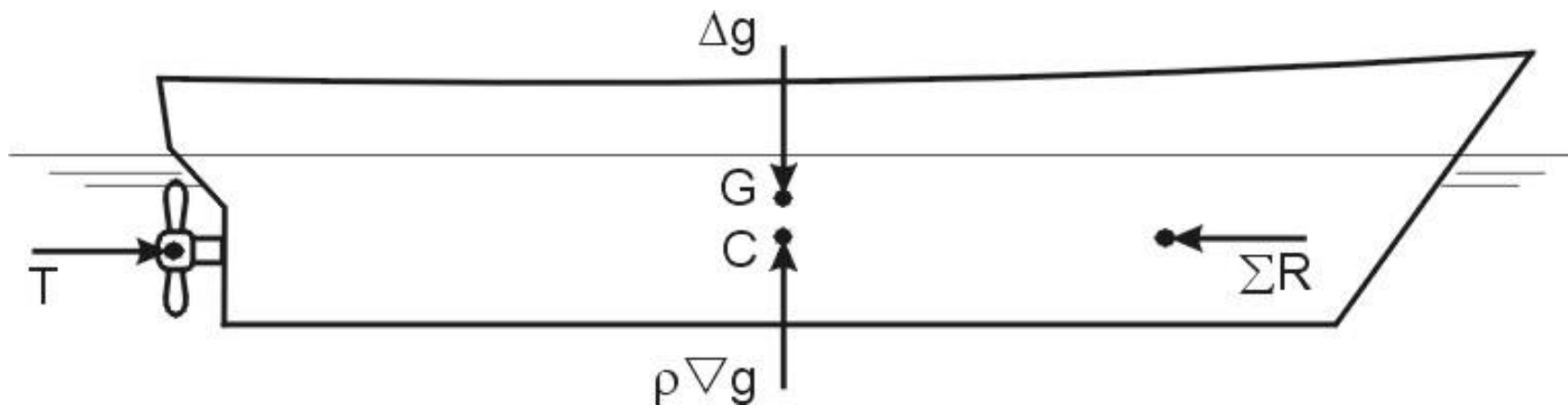
Рыскливость - стремление судна отклониться от курса при прямом положении руля под воздействием кратковременно действующих сил.

Характеристика ***рыскливость*** – это производная от ***устойчивости на курсе*** и ***поворотливости***.

Чем выше ***поворотливость***, тем легче внешнее воздействие сбивает судно с курса, тем больше ***рыскливость***.

Чем выше ***устойчивость на курсе***, тем труднее внешнему воздействию сбить судно с курса, тем меньше ***рыскливость***.

ОСНОВНЫЕ СИЛЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОВЕДЕНИЕ СУДНА



Δg – сила тяжести;

$\rho \nabla g$ – сила поддержания;

T – тяга винта;

ΣR – общее сопротивление движению

Силы, влияющие на движение судна

Все силы, влияющие на горизонтальное движение судна, можно разделить на группы:

движущие силы

силы сопротивления движению

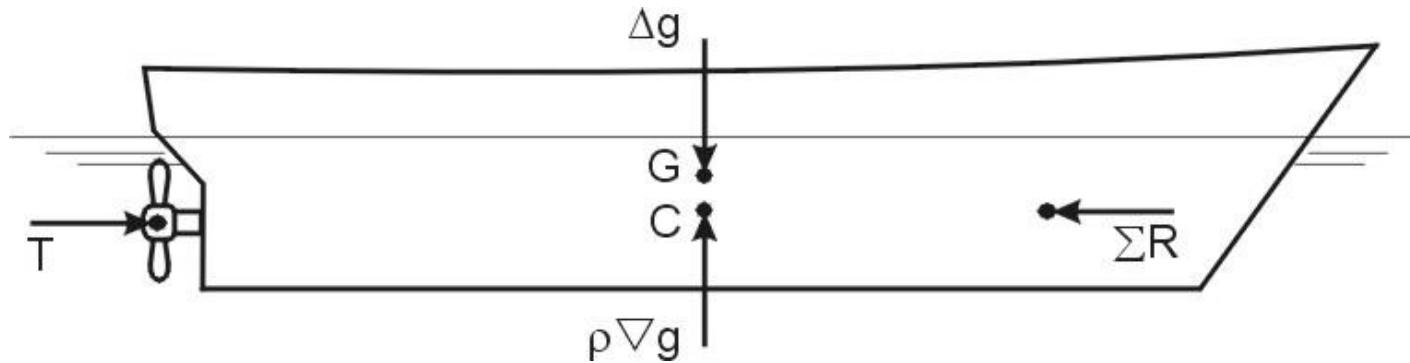
силы инерции

Судоводитель обязан понимать природу сил, действующих на судно, и уметь рассчитывать их величину, когда возникает такая потребность.

ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ

К движущим силам относятся силы, создаваемые средствами управления:

- тяга винта,
- боковая сила руля,
- силы, создаваемые средствами активного управления.



При прямолинейном равномерном движении главной движущей силой является **тяга винта** (или другого движителя), которая уравнивается суммарным сопротивлением среды (воды и воздуха).

Тяга винта

Для расчета тяги винта используются разные формулы. Все они получены эмпирическим путем в результате натурных испытаний определенных винтов, поэтому их нельзя считать универсальными и дающими абсолютно точный результат применительно к любому винту.

Однако, принимая во внимание то, что все параметры, входящие в расчет, принимаются с определенными допусками, формулами можно пользоваться, выбирая наиболее подходящую по комментариям к ней (для каких винтов она разрабатывалась).

Широкое распространение для расчета тяги винта транспортного судна получила формула:

$$T = 1,13 * \left(1,9 - \frac{H_{\text{в}}}{D_{\text{в}}} \right) * \frac{P_{\text{в}}}{D_{\text{в}} * n}$$

где $H_{\text{в}}$ - шаг винта, м;

$D_{\text{в}}$ - диаметр винта, м;

$P_{\text{в}}$ - мощность, потребляемая гребным винтом, кВт ;

n - частота вращения гребного винта, с^{-1} (об./с).

ИНЕРЦИОННЫЕ СИЛЫ

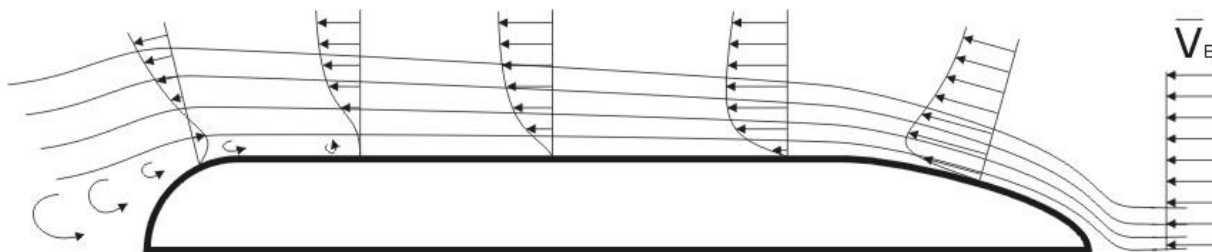
Инерционные силы возникают при изменении параметров движения по направлению и/или скорости.

Инерция – это свойство массы (масса судна + присоединенные массы воды), всегда стремящееся сохранить прежние параметры движения или покоя:

- когда судно ускоряется - инерция замедляет разгон;
- когда судно тормозит - инерция не позволяет остановиться мгновенно;
- когда судно поворачивает - инерция пытается сохранить прямолинейное движение, чем увеличивает радиус кривизны траектории.

Инерционные силы всегда действуют в направлении, противоположном направлению ускорения.

ИНЕРЦИОННЫЕ силы: *Присоединенные массы*



Движущееся судно выводит из состояния покоя частицы воды, оказывающиеся на его пути. Часть воды устремляется в сторону от линии движения судна, часть принимает встречное движение, а часть – попутное. Таким образом судно создает вокруг себя *поле вызванных скоростей*.

Размеры *поля вызванных скоростей*, а следовательно, и количество *присоединенных масс* воды зависят от:

- скорости судна,
- его размеров,
- полноты обводов (*влияют на обтекаемость*) и
- движения по мелководью или глубокой воде.

Массы воды, выведенные из состояния покоя движущимся судном, - *присоединенные массы* – обладают собственной инерцией и существенно влияют на инерционные характеристики судна.



Инерционные характеристики судна всегда следует оценивать с учетом присоединенных масс воды.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ

Применительно к обычным скоростям движения судов сопротивление среды является **функцией квадратичной (условно) зависимости от скорости**

$$R \approx f(V^2)$$

Общее сопротивление движению ΣR зависит от ряда факторов, имеющих разную физическую природу.

В общем случае выделяются следующие составляющие:

- сопротивление трения;
- сопротивление формы;
- волновое сопротивление;
- сопротивление волн;
- сопротивление воздуха.

Соппротивление трения

Соппротивление трения возникает на границе обшивки корпуса и воды.

Зависит (как и сила трения в любом другом случае) от:

- скорости потока,
- коэффициента трения и
- площади соприкосновения - *площади смоченной поверхности*.

Соппротивление трения корпуса судна R_f в кН можно рассчитать по формуле:

$$R_f = f \times \rho \times \Omega \times V^{1.83} \times 10^{-5}$$

где ρ - плотность морской воды, 1025 кг / м³ ;

Ω - площадь смоченной поверхности корпуса судна, м² ;

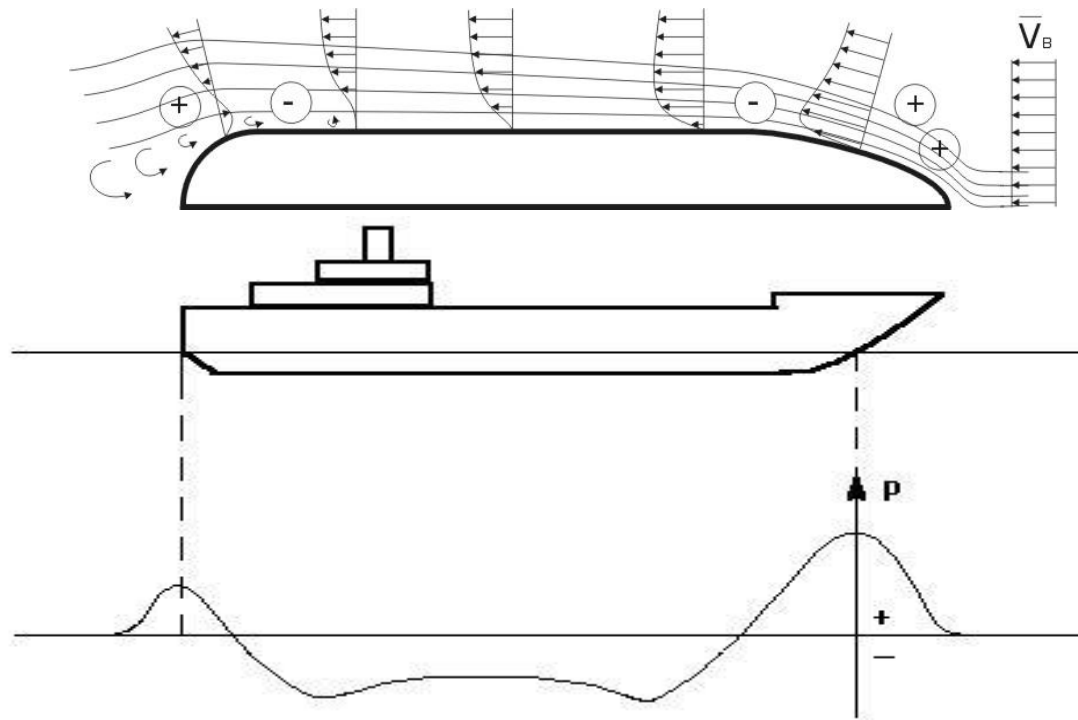
V - скорость хода, м/с ;

f - коэффициент трения.

L , м	30	40	50-70	80-90	100-110	120-150	160-190	200-220
f	0.147	0.146	0.144	0.143	0.142	0.141	0.140	0.139

Прим.: Данные табличные значения не учитывают качество поверхности корпуса (гофрированность и обрастание).

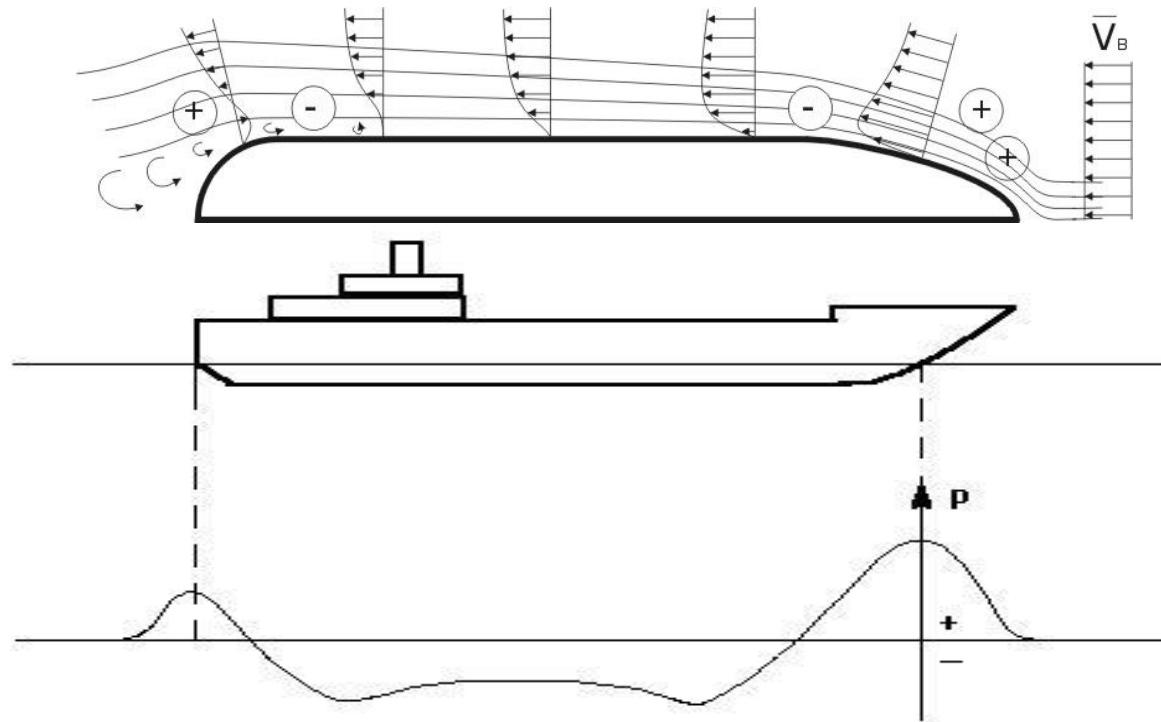
Соппротивление формы



Соппротивление формы связано с характером обтекания корпуса водой. Из-за вязкости воды пограничный слой постепенно утолщается, и на каком-то участке ламинарный поток начинает отрываться от корпуса, образуя турбулентные завихрения с понижением давления. Это приводит к тому, что давление в районе носовой оконечности выше, чем в кормовой.

Разница давлений, направленная в сторону, противоположную движению, и является сопротивлением формы.

Соппротивление формы

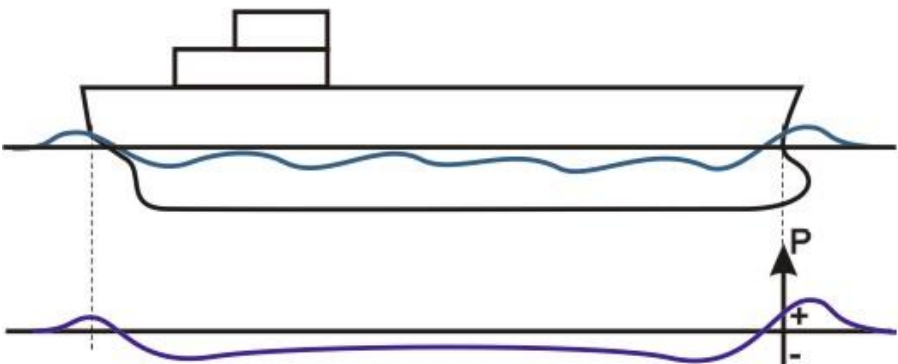
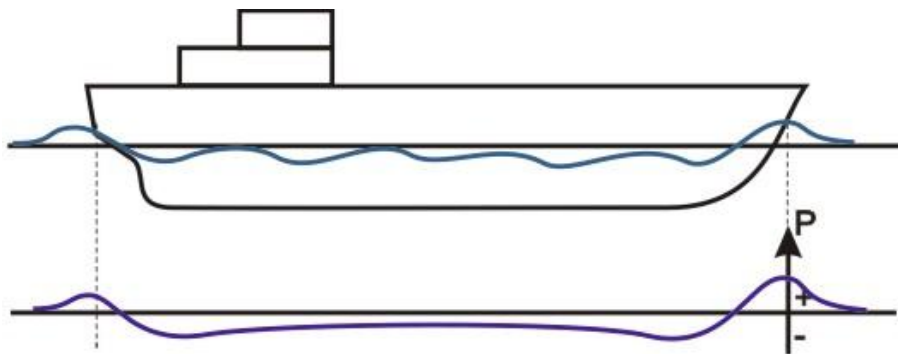


Чем раньше на корпусе образуется отрыв пограничного слоя, тем большее перепад давления, и тем большее сопротивление испытывает судно.

У разных по форме тел разная обтекаемость и, следовательно разная величина турбулентного потока.

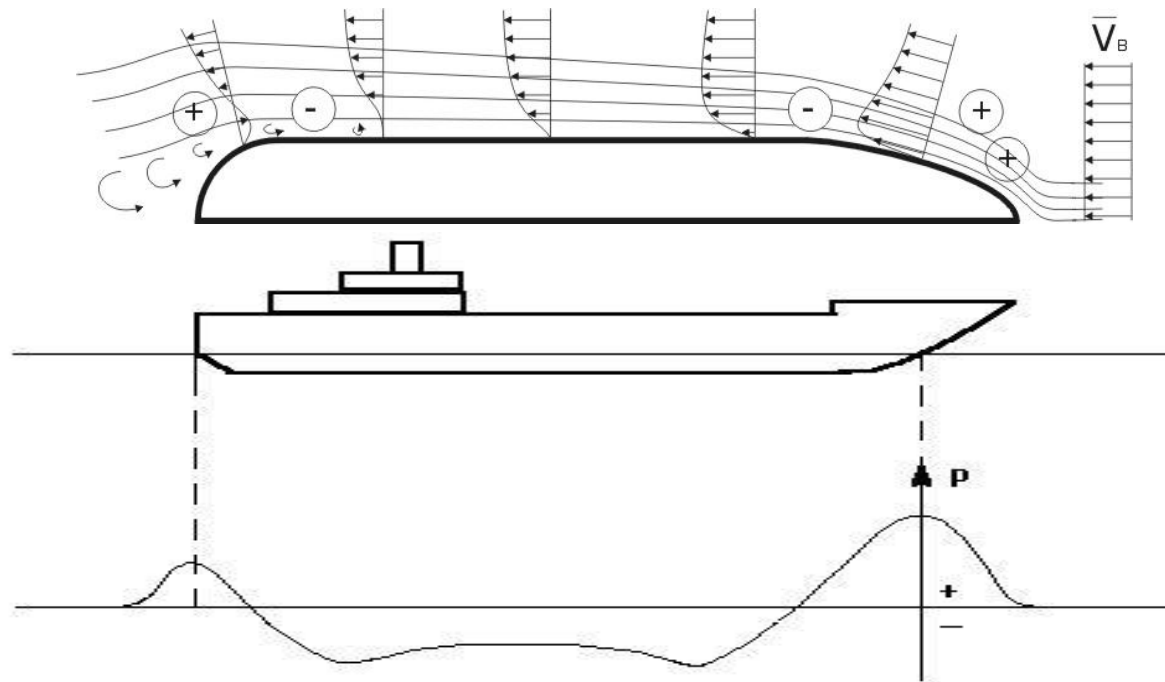
Чем хуже обтекаемость, тем больше перепад давления в потоке перед телом и позади него, тем больше сила сопротивления движению.

Сопротивление формы



Носовой бульб сдвигает зону повышенного давления вперед от форштевня, ➤
чем уменьшает разницу давлений перед корпусом и позади него, а следовательно, ➤
уменьшает сопротивление движению.

Волновое сопротивление



Движущееся судно создает вокруг себя неравномерное поле давления. Неравномерное поле давлений создает неравномерный уровень воды, перемещающийся вместе с судном, т.е. **корабельные волны**.

Энергия, расходуемая на создание корабельных волн, называется **волновым сопротивлением**.

Прим.: подводные лодки в подводном состоянии движутся быстрее, чем в надводном благодаря отсутствию волнового сопротивления (т.к. отсутствует граница раздела вода/воздух)

Остаточное сопротивление

Поскольку и *сопротивление формы*, и *волновое сопротивление* в своей основе имеют неравномерное поле давлений вокруг судна, то в упрощенных расчетах их часто объединяют и вычисляют как ***остаточное сопротивление***:

$$R_r = 0.09 \frac{C_\epsilon * \Delta * V^4}{L^2},$$

где C_ϵ – коэффициент общей полноты;

Δ – водоизмещение, т;

V – скорость, м/с;

L – длина судна, м.

Соппротивление воздуха

Соппротивление воздуха $R_{возд}$ зависит от скорости и направления кажущегося ветра.

Вектор кажущегося ветра является, как известно, суммой векторов скорости судна и скорости истинного ветра. При этом возможны различные ситуации от попутного ветра до встречного. Обычно, наибольшее давление воздуха на судно наблюдается при курсовых углах ветра около 30° .

С учетом этого формула определения сопротивления воздуха $R_{возд}$ в кН будет иметь вид:

$$R_{возд} = (0.88 * A_m + 0.51 * A_d) * (V + V_e)^2 * 10^{-3} ,$$

где V_e - скорость ветра, м/с;

A_m - проекция надводной поверхности судна на плоскость мидельшпангоута, m^2 ;

A_d - проекция надводной поверхности судна на диаметральную плоскость судна, м.

Соппротивление волн

Соппротивление движению судна, вызываемое волнением моря, можно находить из выражения (кН):

$$R_{\text{волн.}} = k_6 * \gamma * \Omega * V^2 / (2 * 10^7) ,$$

где k_6 - волнение моря, балл.

РАЗГОН И ТОРМОЖЕНИЕ

Режимы торможения

Пассивное торможение

2 временных этапа:

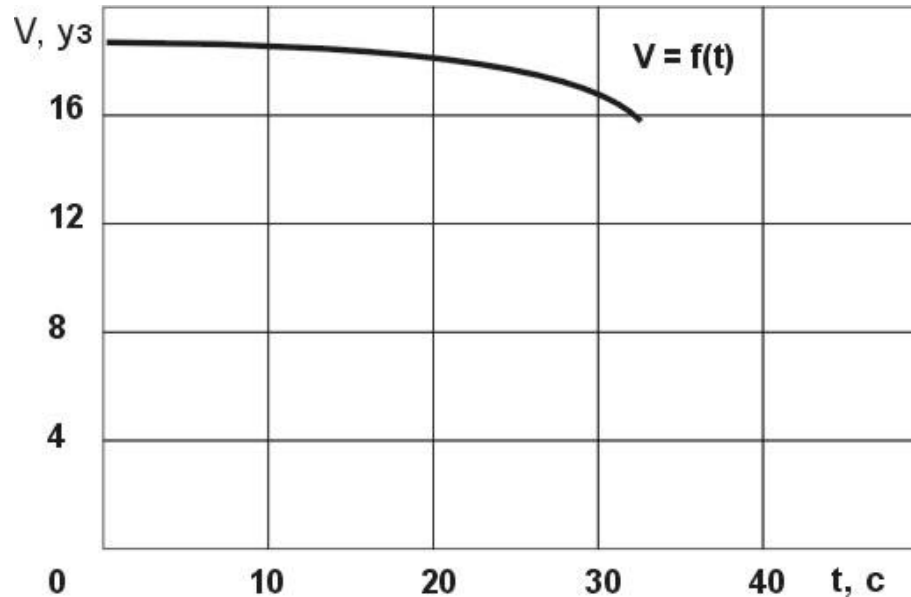
- 1) остановка винта;
- 2) движение со свободно вращающимся в потоке винтом.

Активное торможение

3 временных этапа:

- 1) остановка винта;
- 2) перевод винта в режим заднего хода (*движение со свободно вращающимся в потоке винтом*);
- 3) движение вперед с винтом, работающим на задний ход.

Остановка винта



Происходит постепенное падение упора винта.

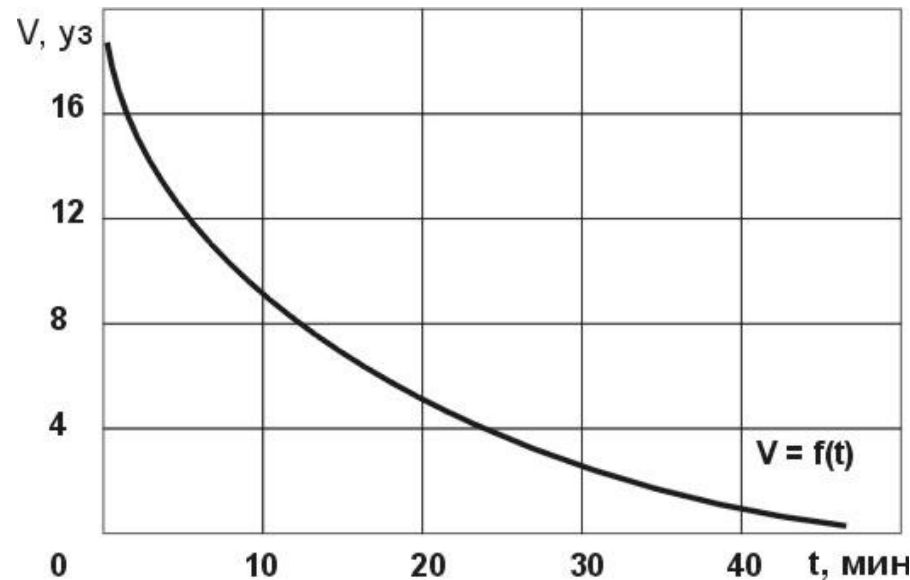
Остановка винта обычно составляет несколько десятков секунд.

Время этапа зависит от:

- начальной скорости,
- особенностей двигателя и
- типа винта (ВФШ/ВРШ)

Движение с остановленным двигателем (пассивное торможение)

Характер изменения скорости во времени



Винт остановлен, следовательно, движущая сила отсутствует, а сопротивление есть =>

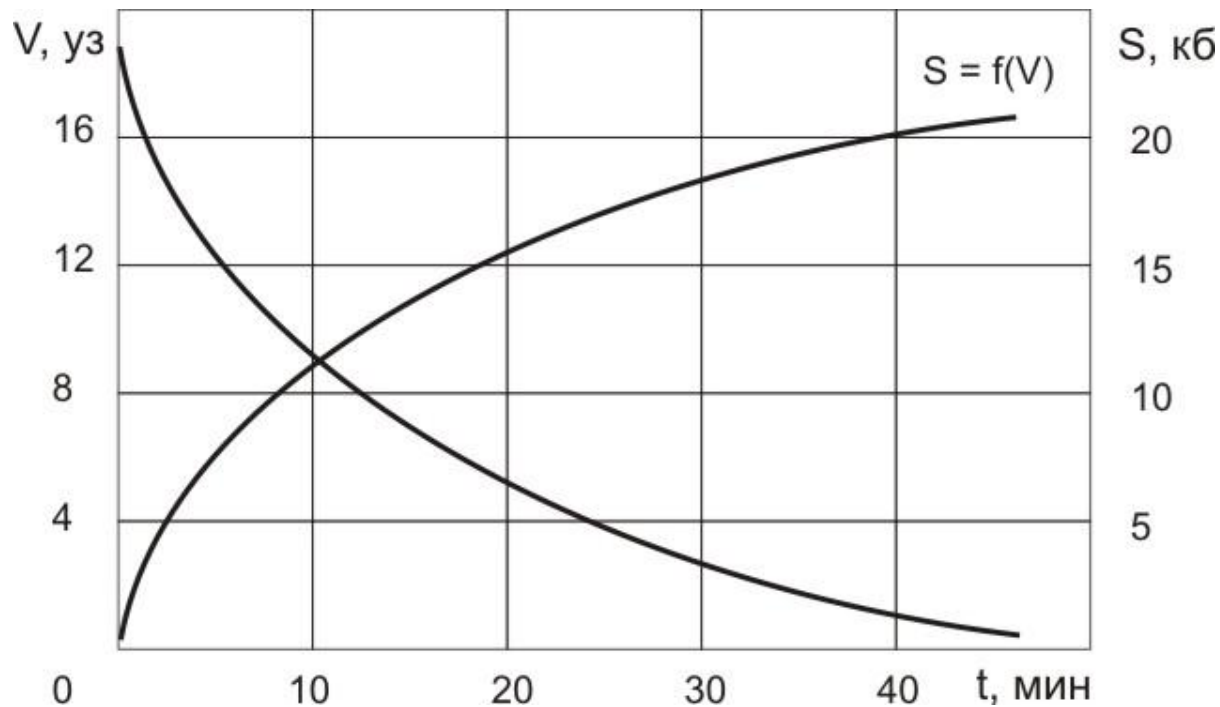
=> уменьшается скорость =>

=> уменьшается сопротивление (пропорционально квадрату скорости!) =>

=> уменьшается скорость падения скорости (т.е. чем меньше становится скорость, тем медленнее она падает)

Движение с остановленным двигателем (пассивное торможение)

Характер изменения скорости и пройденного расстояния во времени



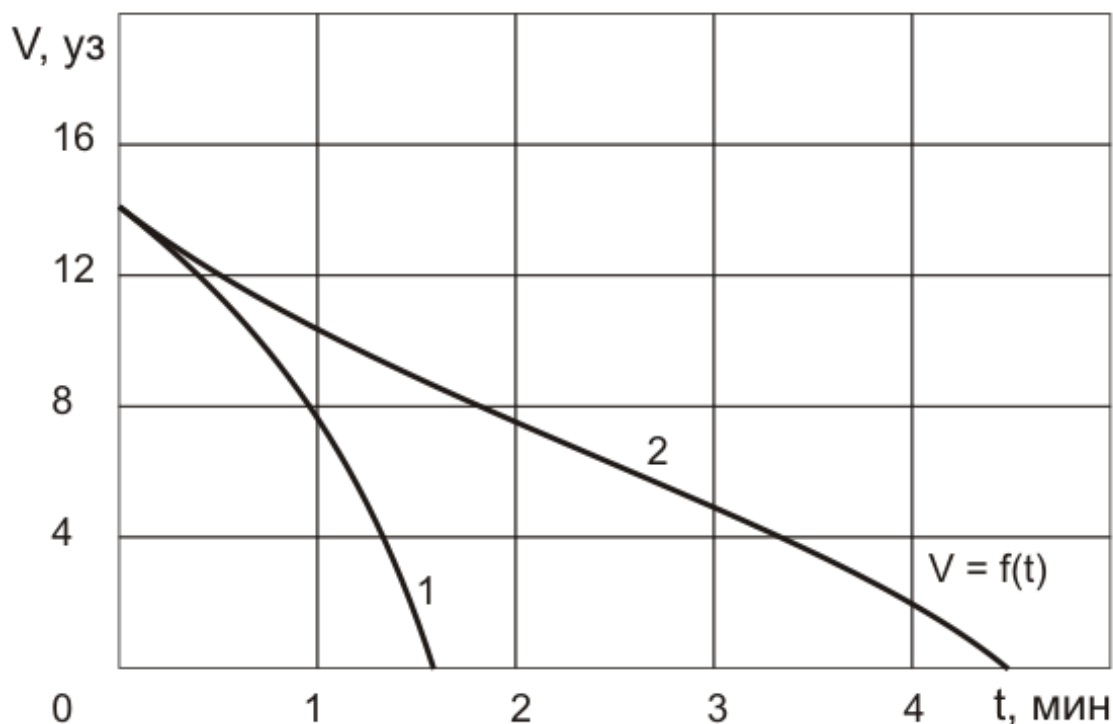
Поскольку происходит уменьшение скорости, то и
замедляется прирост
проходимого расстояния за единицу времени

Движение с винтом, работающим на задний ход (активное торможение)

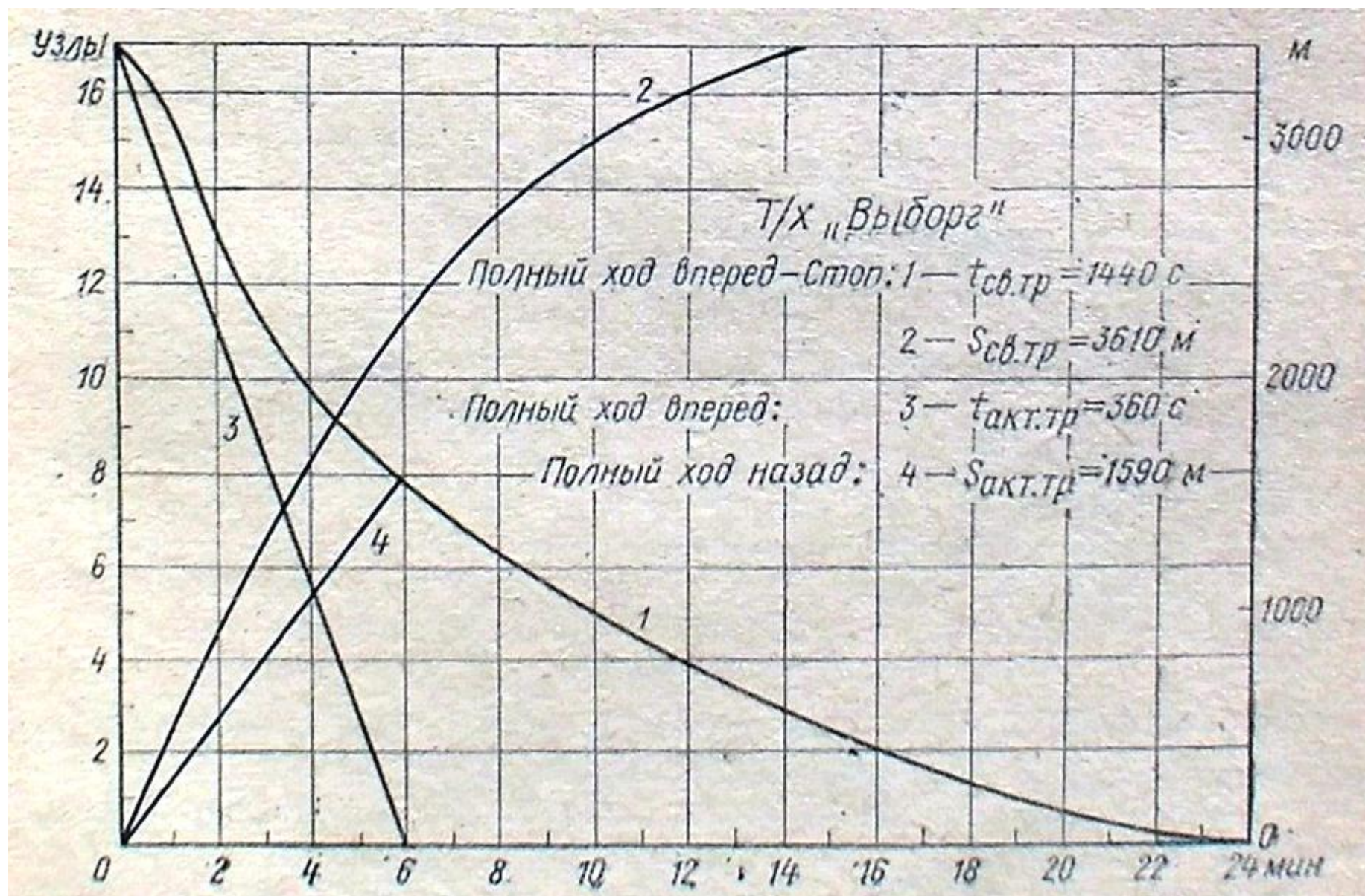
Инерция судна гасится при постоянно действующей силе работающего на задний ход винта.

Характер кривой зависит от **энерговооруженности** судна. Чем больше мощности приходится на единицу массы, тем быстрее происходит падение скорости.

Характер изменения скорости при активном торможении судна с большой (1) энерговооруженностью и с малой (2)

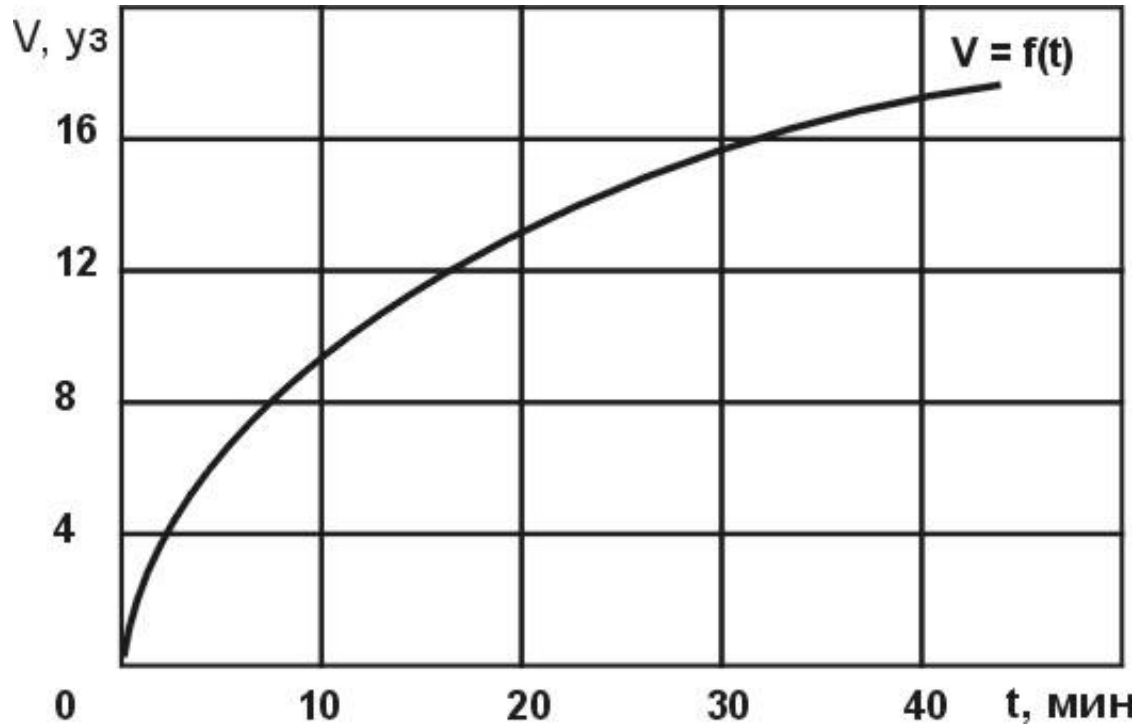


Графики режимов торможения: ППХ-СТОП; ППХ-ПЗХ



РАЗГОН

Характер изменения скорости во времени



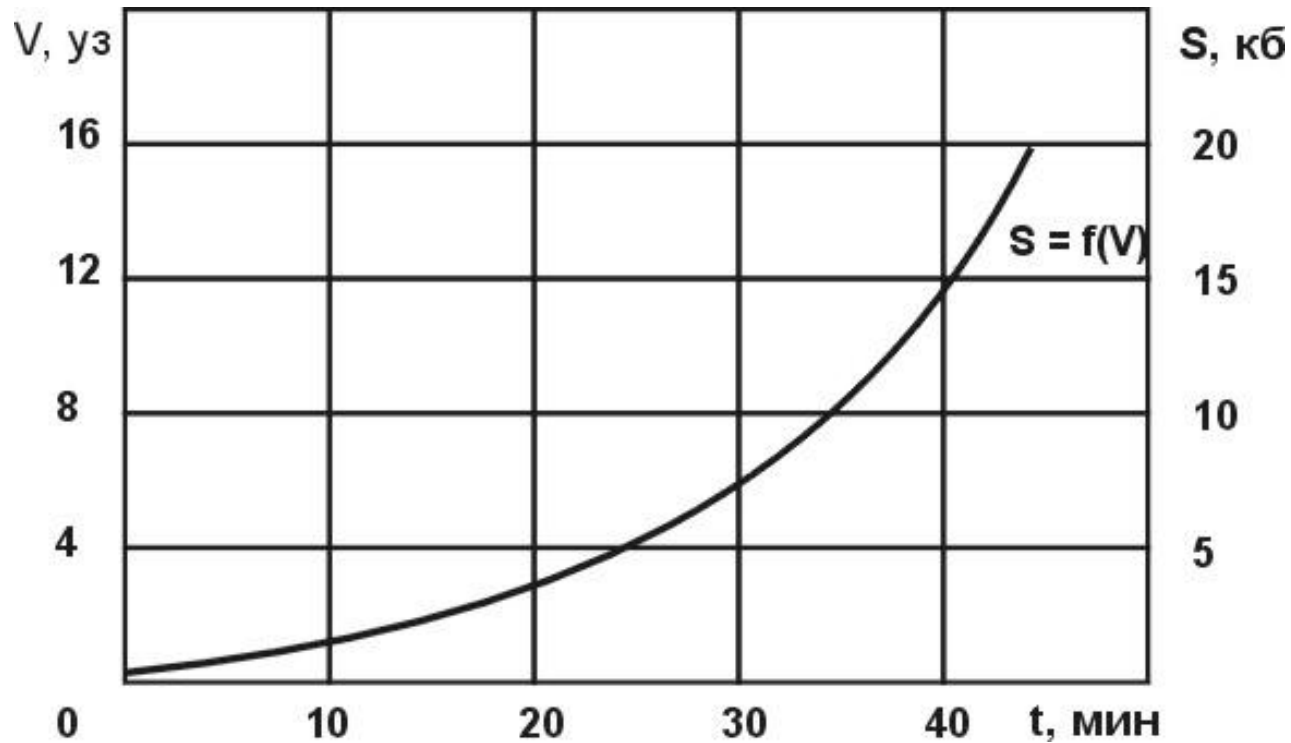
Упор винта превышает сопротивление =>

⇒ увеличивается скорость =>

⇒ увеличивается сопротивление пропорционально квадрату скорости =>

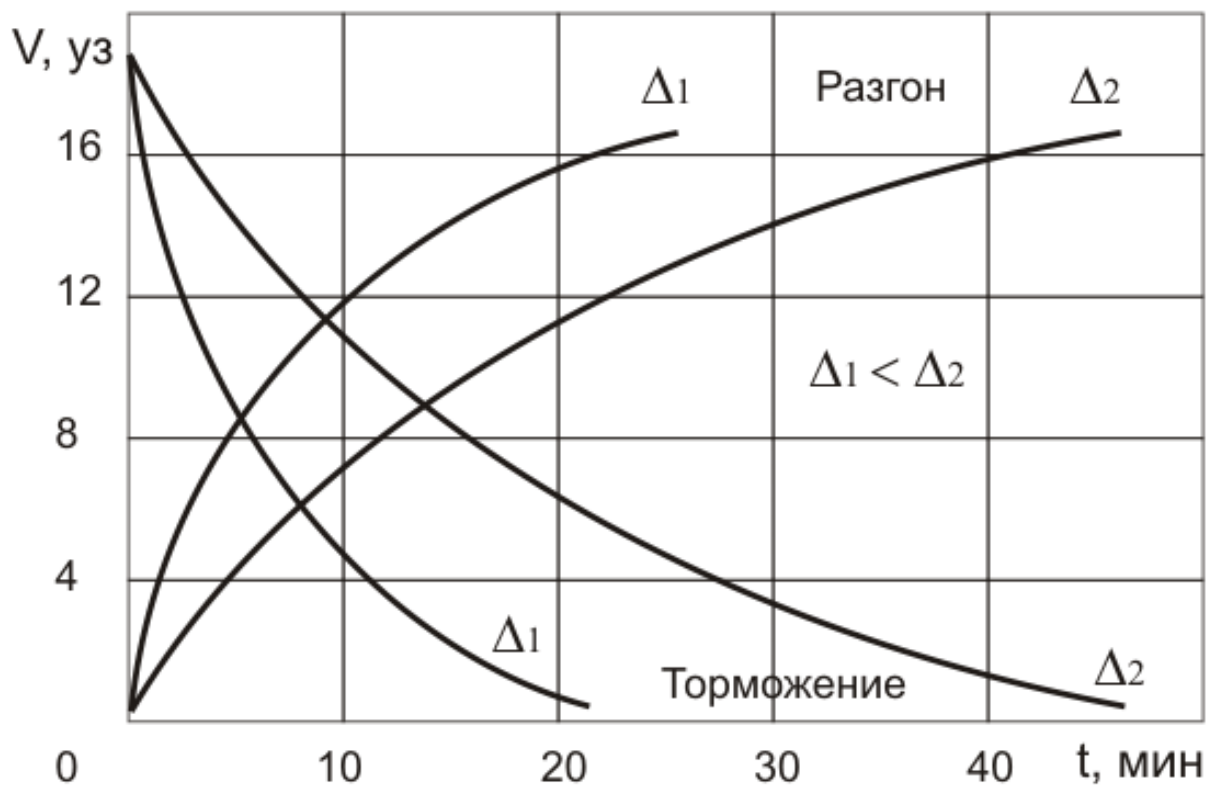
⇒ замедляется прирост скорости

Характер изменения проходимого расстояния



Поскольку происходит прирост скорости, то и увеличивается прирост проходимого расстояния за единицу времени

ВЛИЯНИЕ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ НА РАЗГОН И ТОРМОЖЕНИЕ



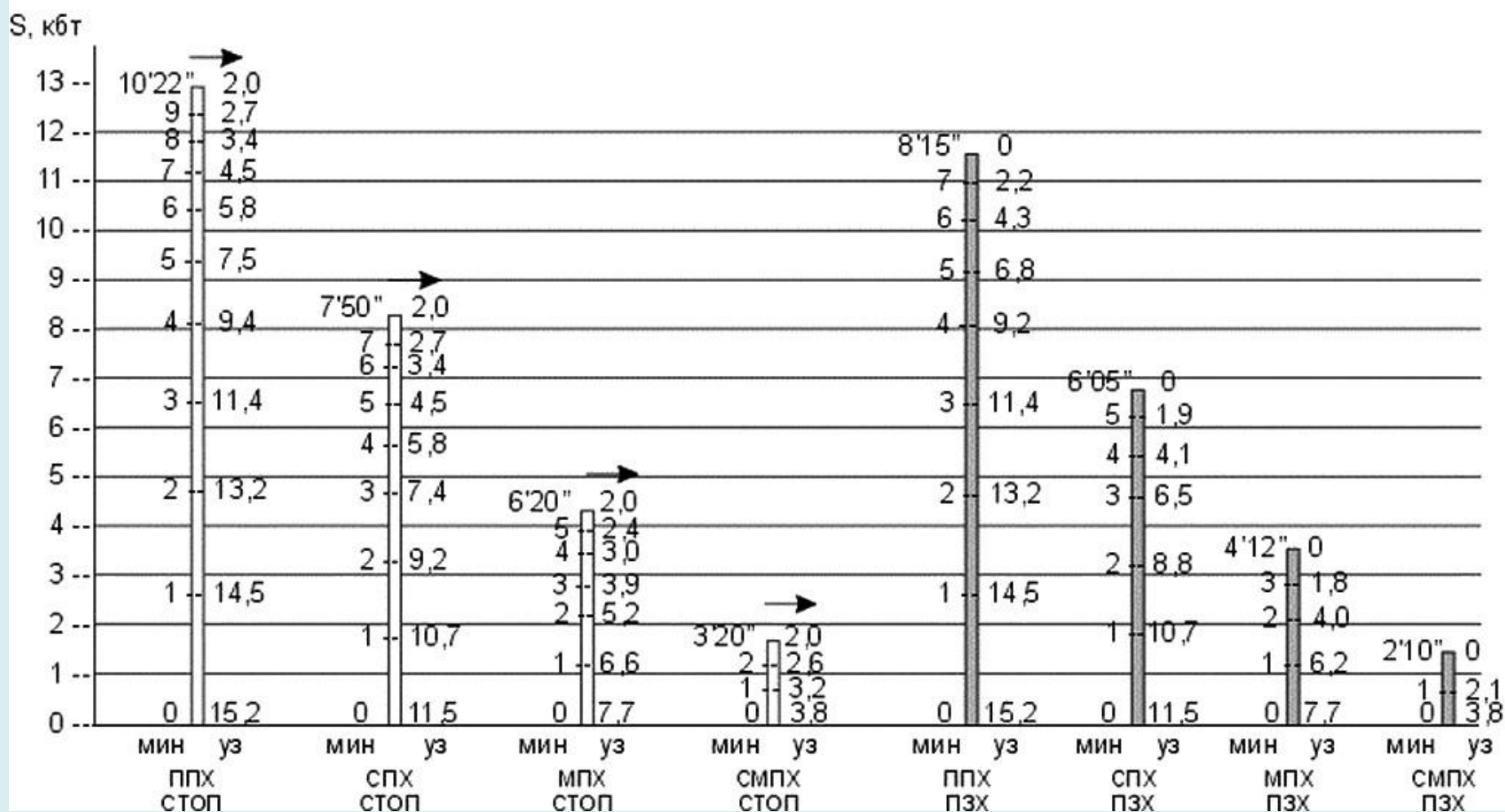
И процесс разгона, и процесс торможения являются режимами изменения скорости, когда силы инерции определяют характер движения.

Чем больше водоизмещение судна, тем больше инерционность, тем медленнее изменяется его скорость как при разгоне, так и при торможении.

Данные о тормозных характеристиках судна

В процессе эксплуатации переход судна в режим торможения может происходить с различных режимов движения.

Для основных режимов работы двигателя в судовой документации должна содержаться информация о тормозных характеристиках судна.



Методы расчета маневренных характеристик

- **Аналитический (расчетный)**

Расчетные формулы получают по результатам исследования поведения модели судна в опытовом бассейне и основываясь на принципах подобия данные формулы применяют к реальным судам.

- **Расчетно-экспериментальный**

Используются данные отдельных натурных экспериментов для расчета поправочных коэффициентов к математическим формулам. По скорректированным формулам рассчитываются все остальные режимы маневрирования.

- **Экспериментальный**

Данные всех режимов маневрирования получают путем проведения натурных испытаний.