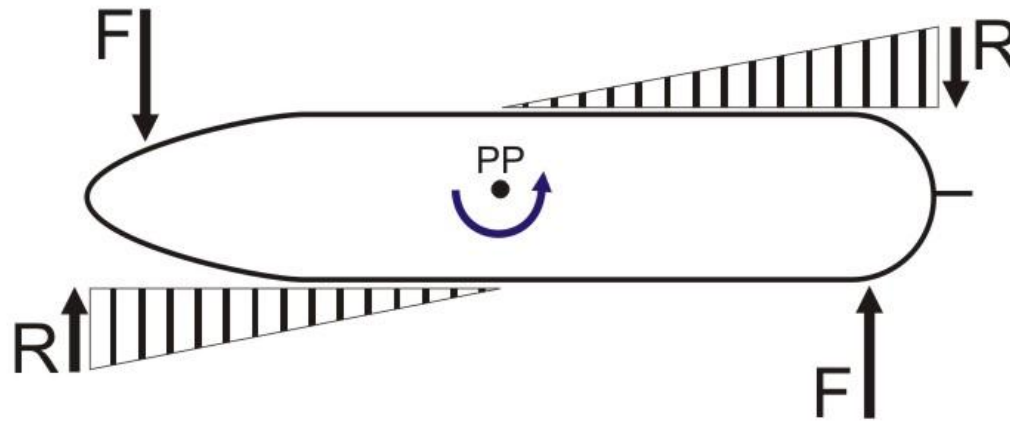


# Поворотливость судна ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ

В понимании свойства поворотливость главную роль играет понимание положения центра вращения судна (*PP – Pivot Point*)

При поворотах судно разворачивается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр сил сопротивления  
*(прежде всего, гидродинамических и инерционных, а при сильном ветре и аэродинамических).*



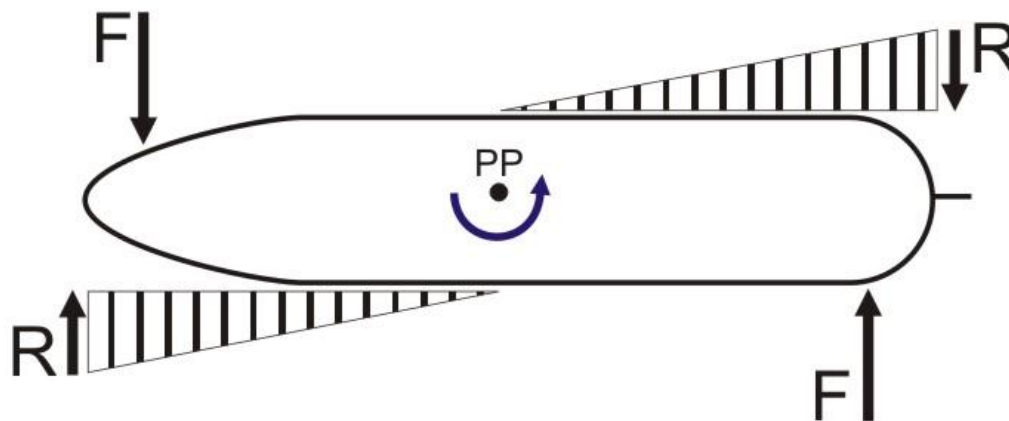
**Центром вращения является точка, которая не имеет поперечного смещения при вращении судна.**

*Следует понимать, что в данном случае речь идет о точке в системе координат, связанных с судном, т.к. при появлении боковой силы кроме вращения судно приобретает линейное боковое смещение.*

# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ НЕПОДВИЖНОГО СУДНА

У судна, не имеющего хода, центр сопротивления находится вблизи центра судна.

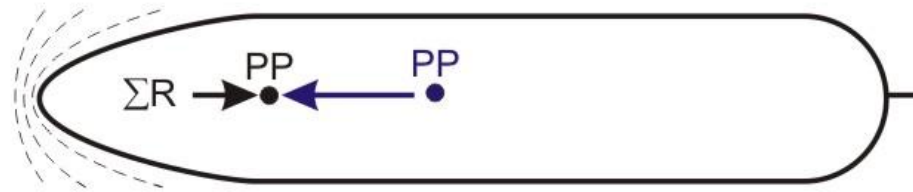
*Вблизи, а не точно в центре, потому что разная геометрия носа и кормы создают разное сопротивление вращению.*



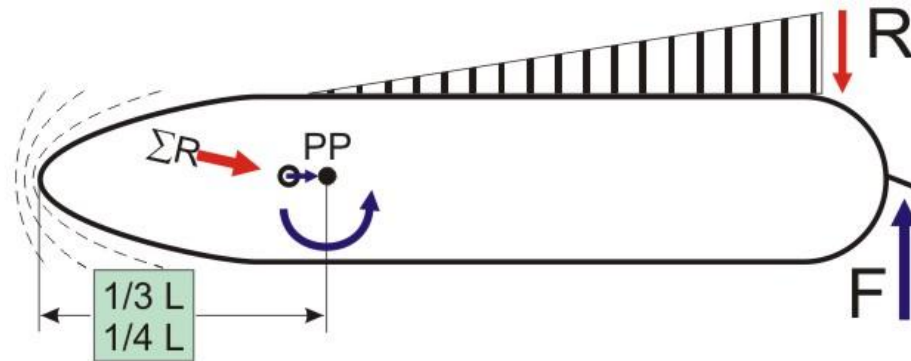
Судно, не имеющее хода, вращается вокруг оси, проходящей вблизи центра судна.

# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ СУДНА

У судна, начавшего движение вперед, центр сопротивления смещается вперед.



После начала вращения центр сопротивления несколько смещается назад.

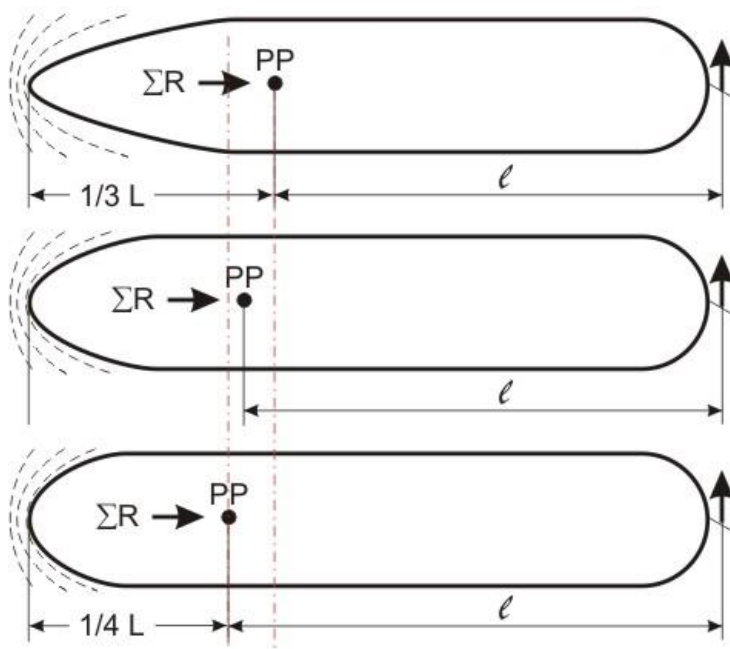


У разных исследователей приводятся разные данные по положению точки **PP** при движении передним ходом.

У судна, движущегося полным передним ходом, точка **PP** находится на расстоянии  $1/4 - 1/3$  длины корпуса от носового перпендикуляра.

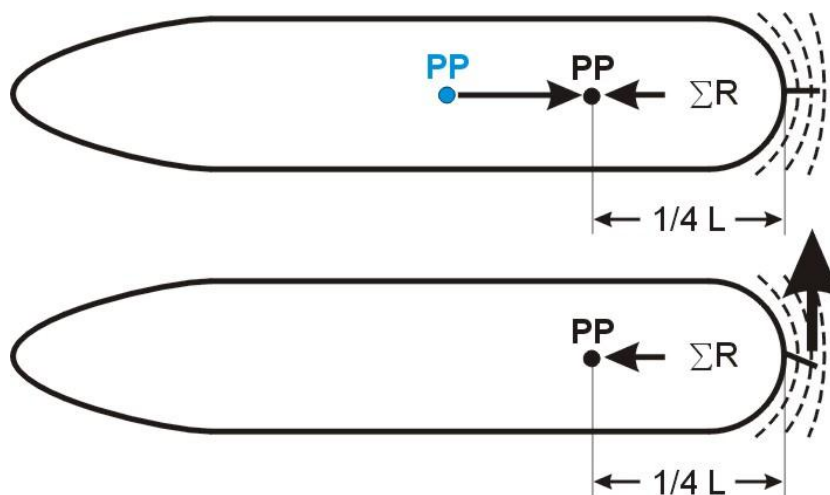
# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ СУДНА

Величина смещения центра сопротивления всегда зависит от скорости движения и от полноты носовых обводов.



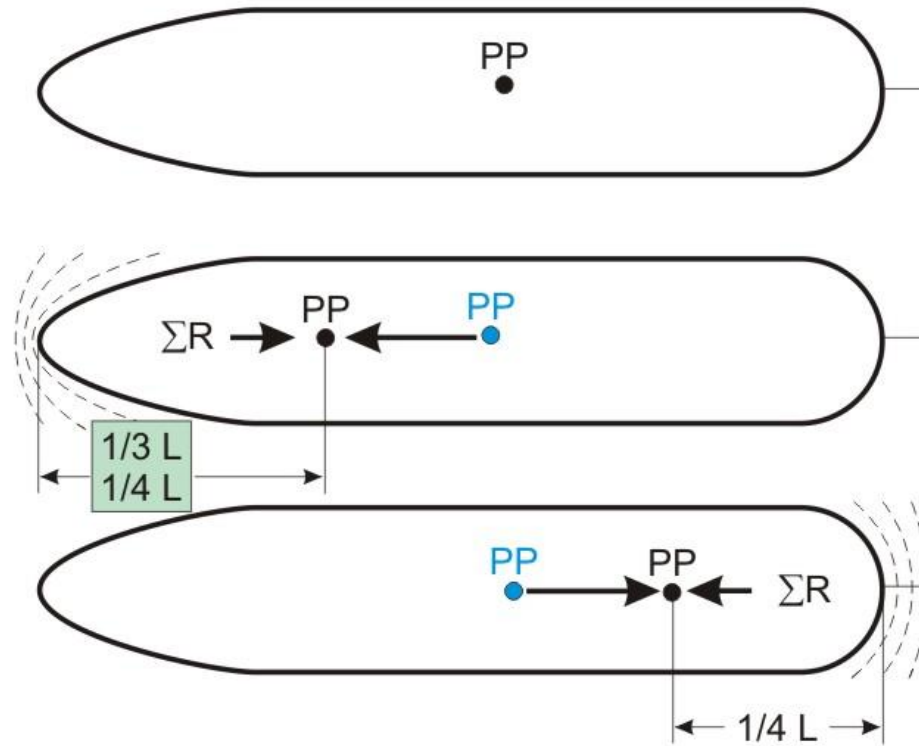
# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ СУДНА, ДВИЖУЩЕГОСЯ НАЗАД

У судна, начавшего движение назад, центр сопротивления смещается назад. Величина этого смещения зависит от скорости движения и от особенностей кормовых обводов.



**Принято считать, что при движении задним ходом положение точки PP находится на расстоянии 1/4 длины корпуса от кормового перпендикуляра.**

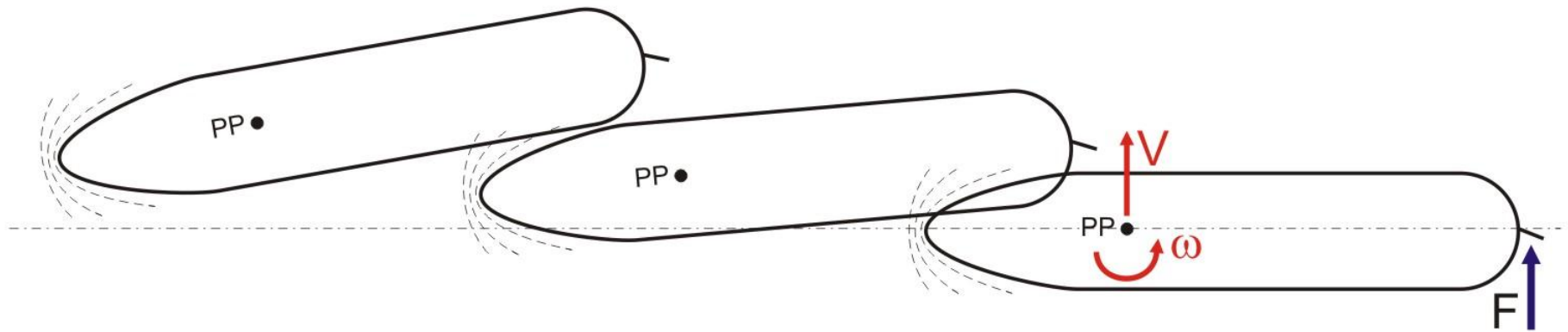
# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ СУДНА



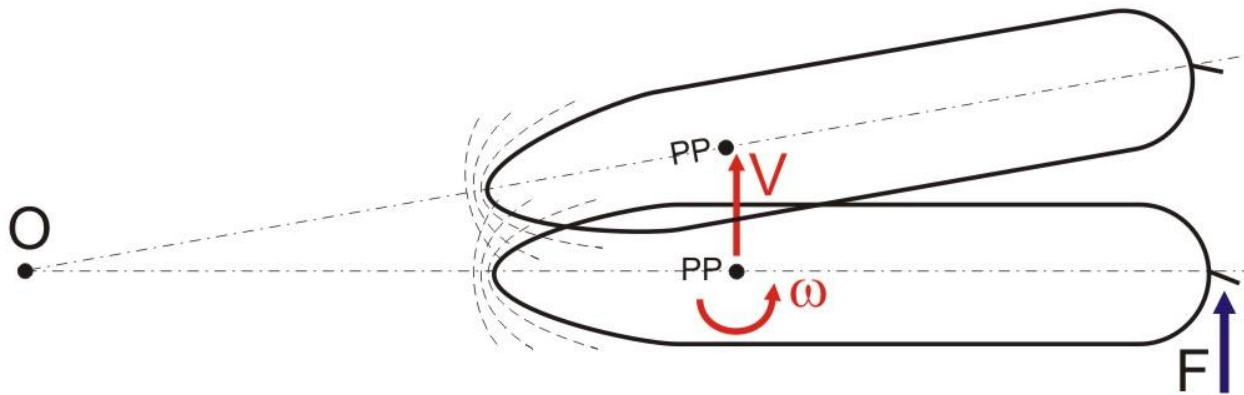
# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ГРУНТА

Следует понимать, что до сих пор речь шла о точке в системе координат, связанных с судном, т.к.

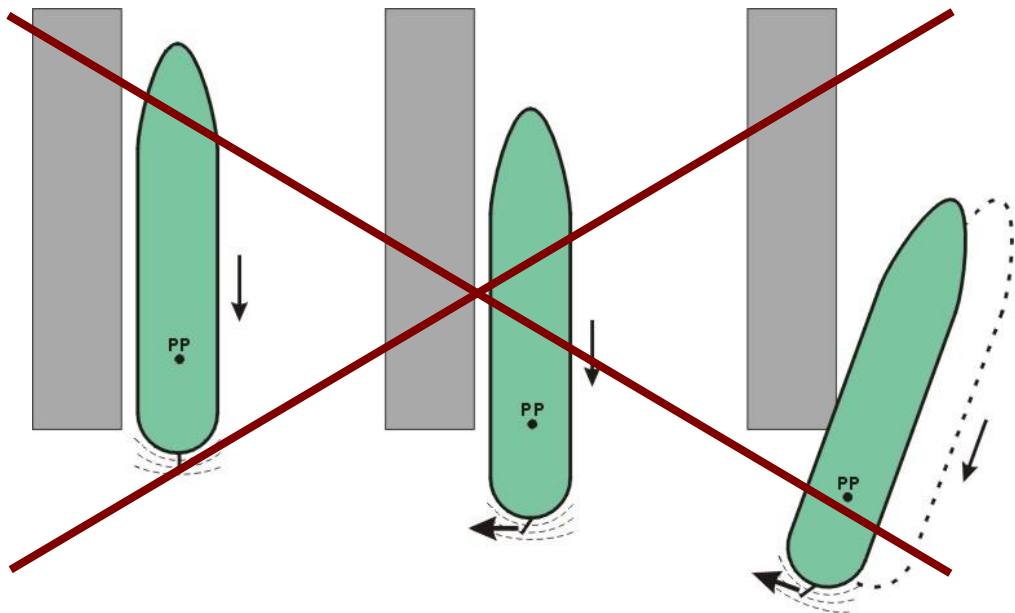
**при появлении боковой силы кроме вращения судно приобретает боковое смещение.**



Таким образом, если говорить о вращении относительно грунта, то его центр находится где-то впереди по ходу движения.



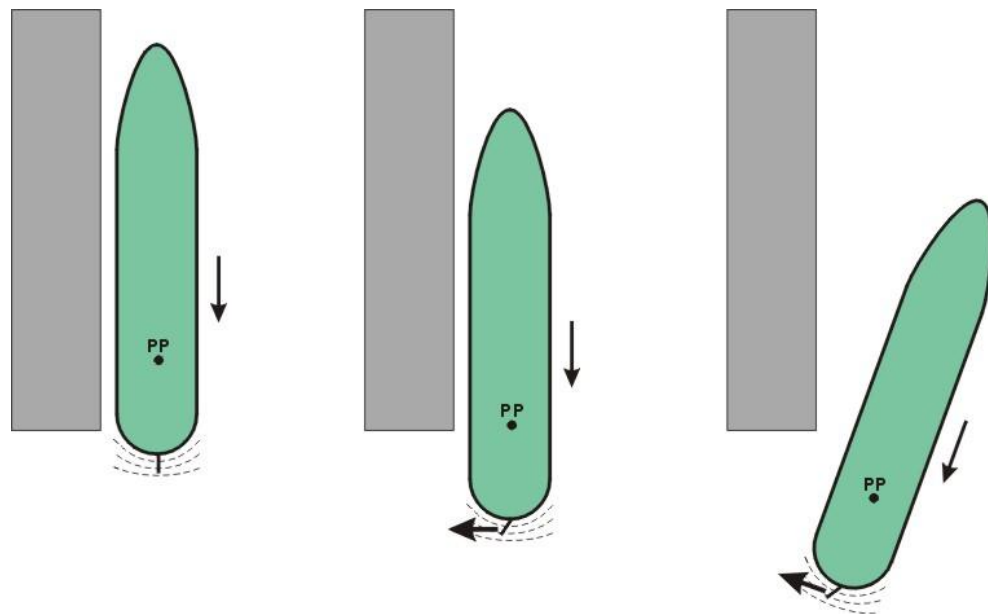
# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ГРУНТА: *пример*



При прохождении задним ходом крайней точки причала на  $1/4$  длины не следует ожидать, что судно безопасно развернется.

Кроме вращения относительно точки **PP** боковая сила вызывает линейное боковое смещение, за счет которого высока вероятность навала на причал.

**Необходимо пройти более чем на  $1/4$  длины корпуса за оконечность причала прежде чем начинать разворот.**





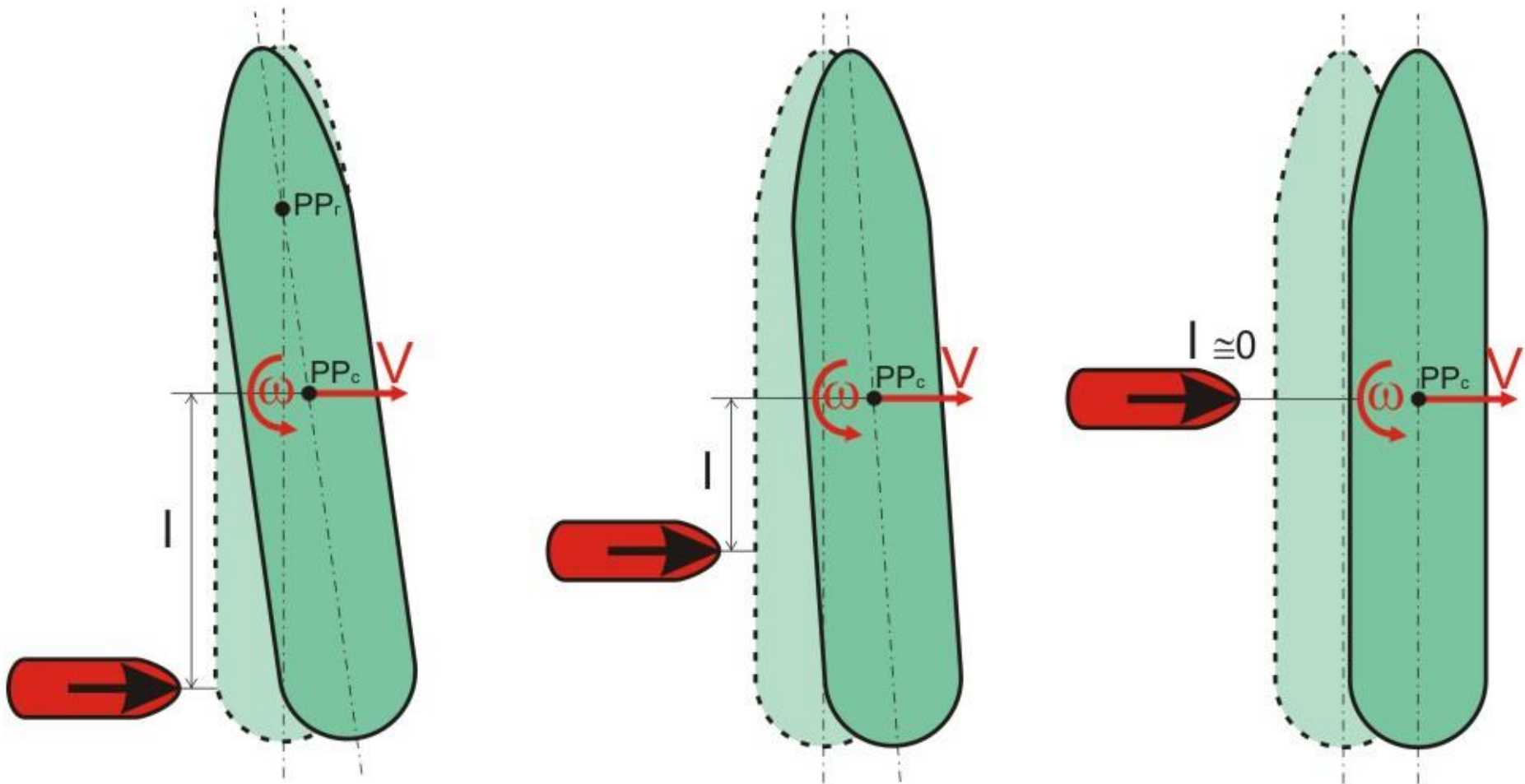
# ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ СУДНА

Следует также понимать, что положение центра вращения принимается весьма приближенно, т.к. слишком много переменных величин, формирующих это положение.

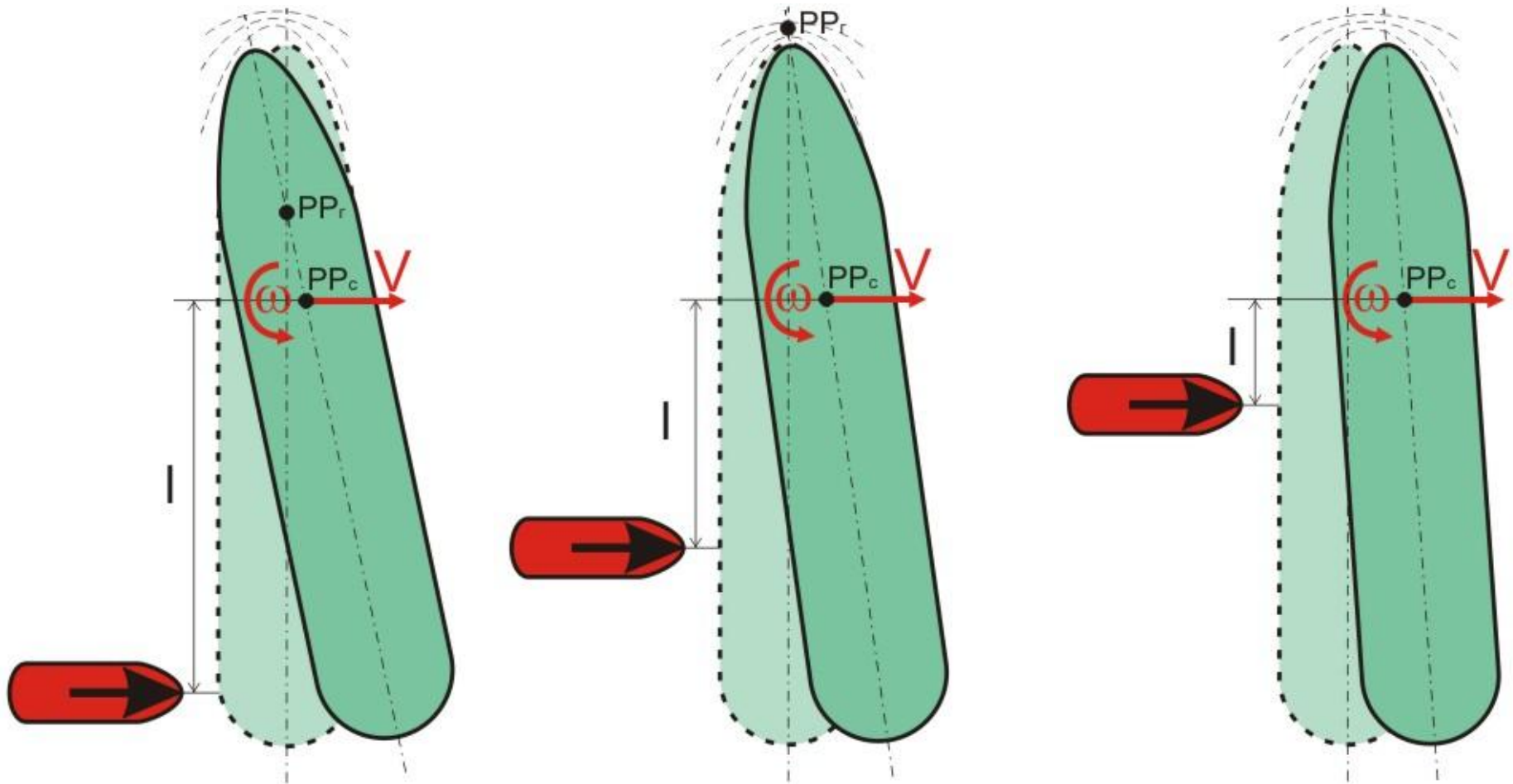
Большое значение в местоположении центра вращения имеют конструктивные особенности корпуса, в частности, площадь кормового дейдвуда. Чем больше площадь кормового дейдвуда, тем хуже обтекаемость кормовой оконечности при вращении, тем ближе в корму смещается центр сопротивления.

# Влияние места приложения боковой силы на распределение энергии на вращение и линейное движение при отсутствии хода

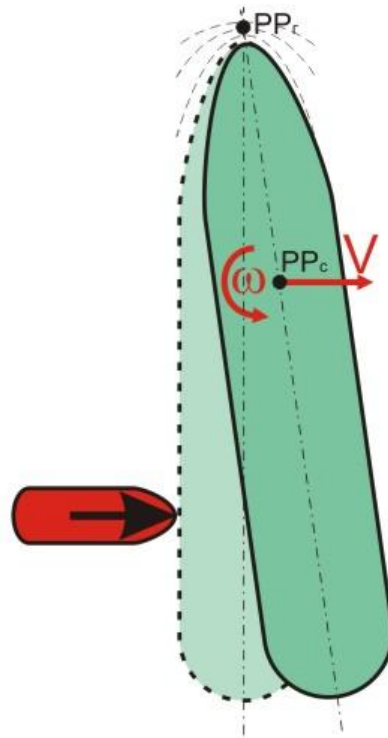
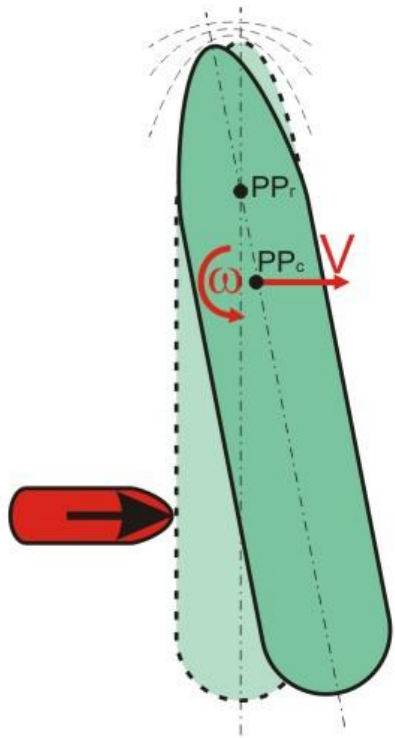
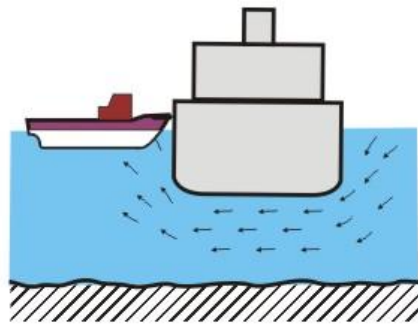
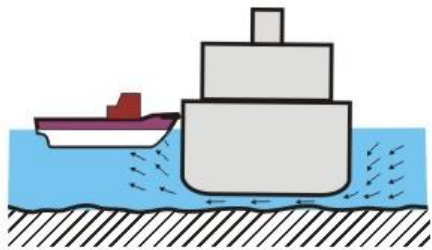
*при отсутствии хода*



# Влияние места приложения боковой силы на распределение энергии на вращение и линейное движение при наличии хода



## на мелководье



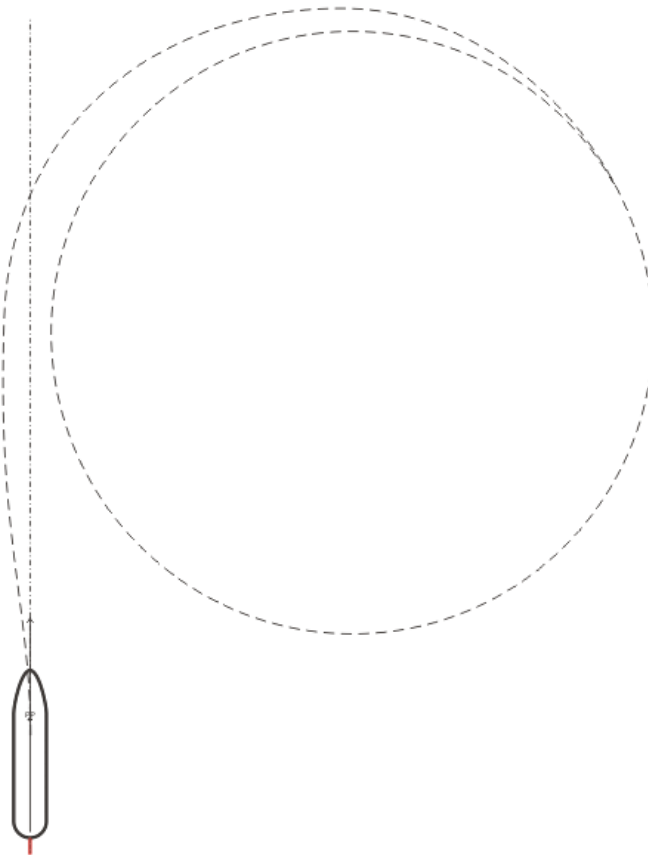
При ограниченности пространства под корпусом создается повышенное сопротивление поперечному смещению судна.

Энергия буксира больше расходуется на вращение, чем на боковое линейное движение.

Центр вращения на мелководье находится ближе к середине судна, чем на глубокой воде.

# УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

**Циркуляцией** называют траекторию, описываемую средней точкой судна (*midship point*), при движении с отклоненным на постоянный угол рулем.

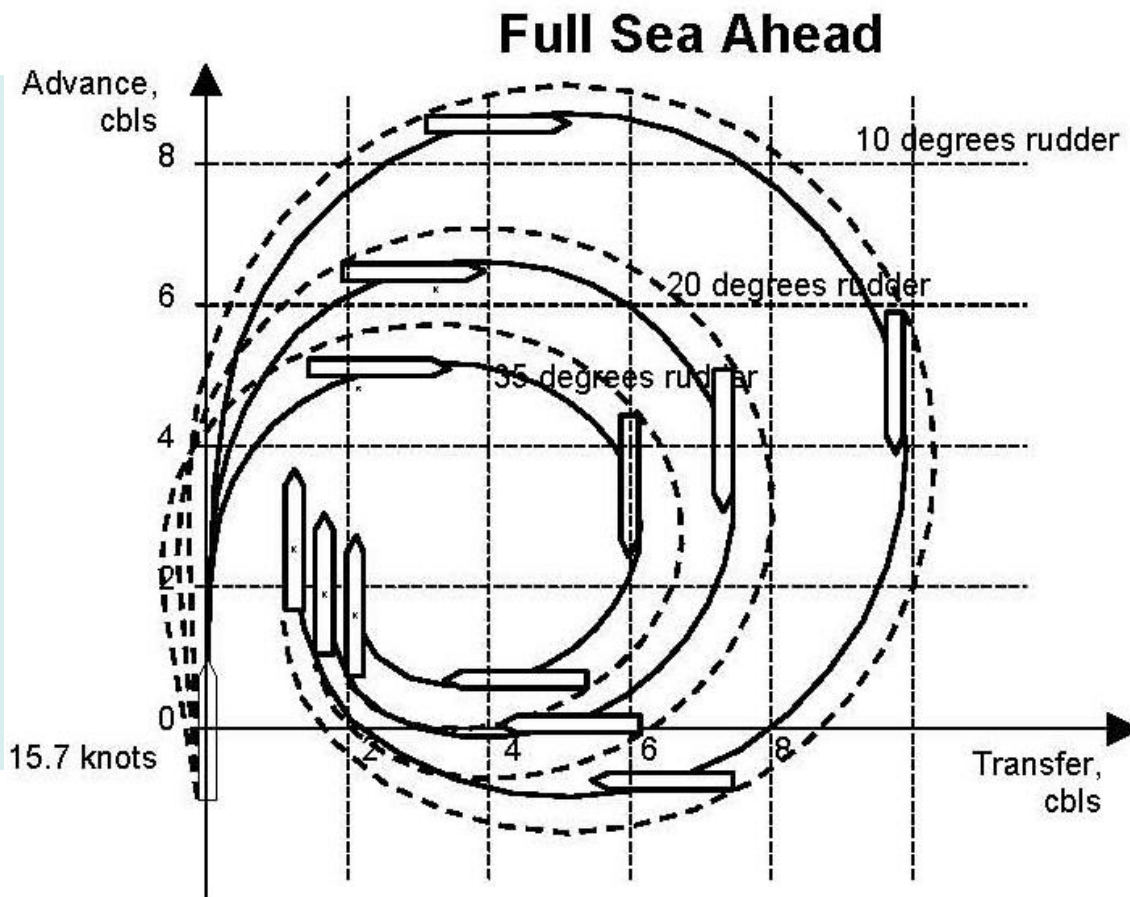


# ПОВЕДЕНИЕ СУДНА НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

*Стандартным манёвром, информация о котором обязана быть в судовой документации, является циркуляция с перекладкой руля на 35° («на борт»)*

Как правило, в судовой документации также содержится и информация о циркуляции с перекладкой руля на 15° («пол борта»)

Реже встречается документация с данными о циркуляции при трёх вариантах положения руля: 10°, 20°, 35°.



# УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

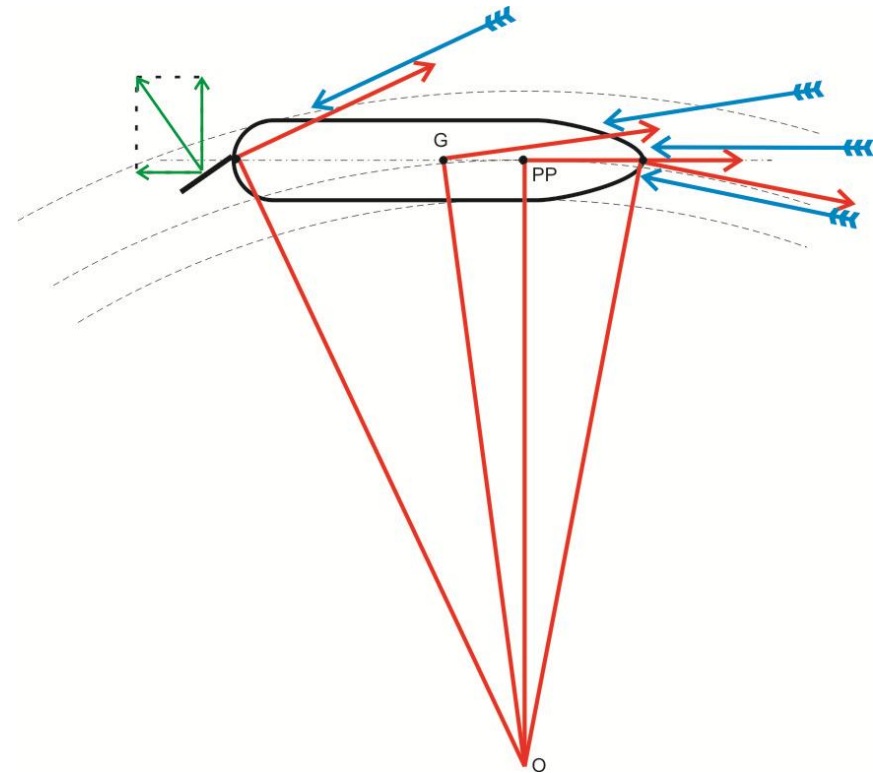
Скорость и кривизна циркуляции определяются балансом сил:

- движущих,
- инерционных и
- гидродинамического сопротивления

Циркуляция характеризуется:

- линейной и угловой скоростями,
- радиусом кривизны и
- углом дрейфа.

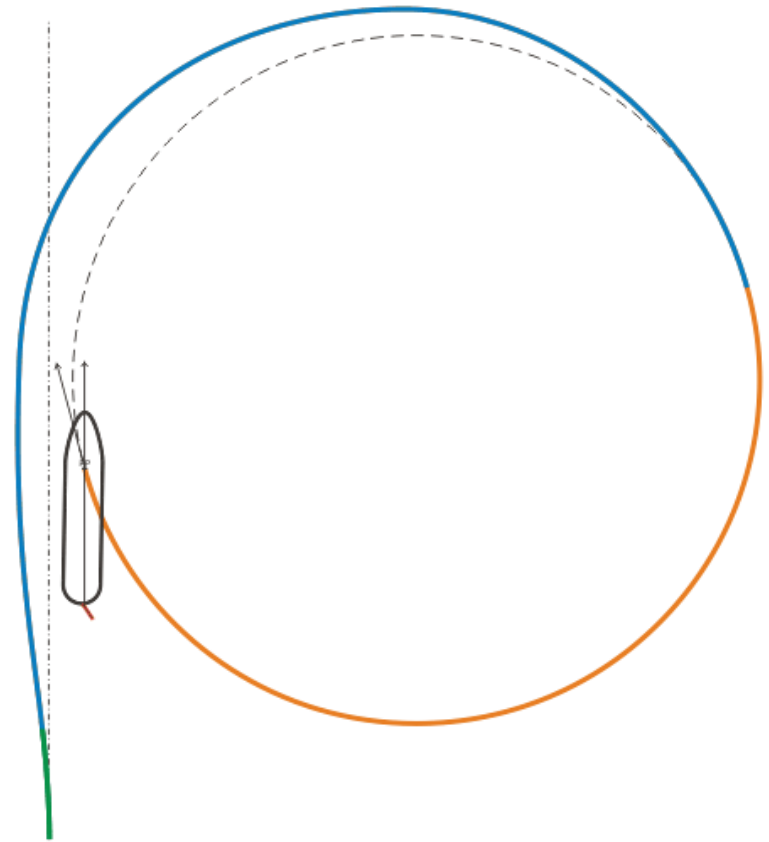
Для разных точек судна общей является только угловая скорость, в то время как остальные характеристики различны.



# Этапы движения

Циркуляцию принято разбивать на три периода:

1. Маневренный период
2. Эволюционный период
3. Установившийся период



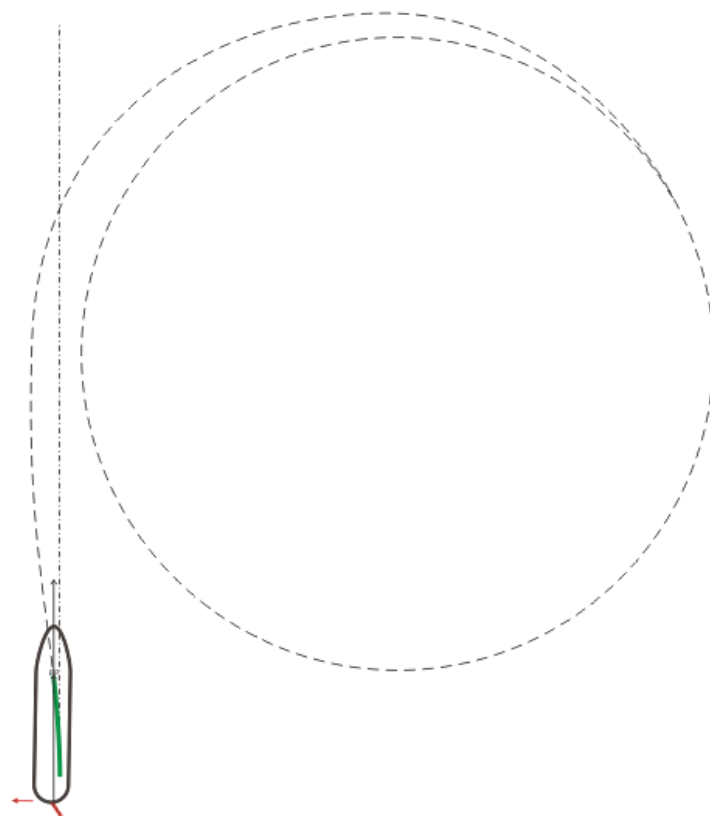


# Маневренный период циркуляции

период, в течение которого происходит перекладка руля на заданный угол.

С момента начала перекладки руля появляется боковая сила, и судно:

- начинает дрейфовать в сторону, противоположную перекладке руля, и
- начинает разворачиваться в сторону перекладки руля.



*Учитывая, что перекладка пера руля с 35° одного борта на 30° другого борта занимает не более 28 сек, «маневренный период» очень короткий.*

# Эволюционный период циркуляции

начинается с момента окончания перекладки руля и продолжается до момента, когда наступает равновесие всех действующих на судно сил.

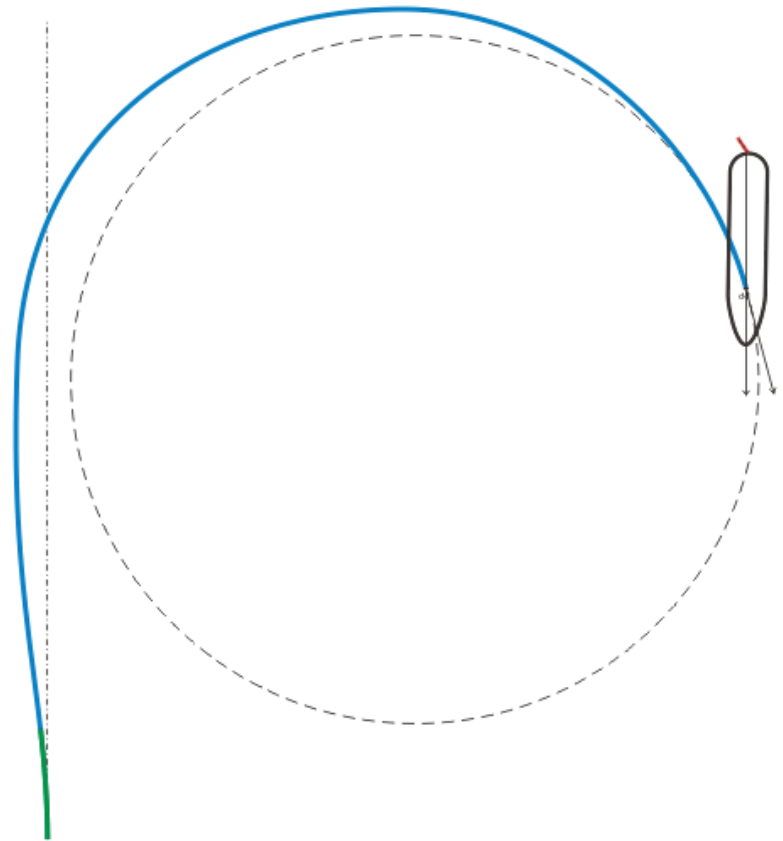
На этом этапе:

- **возрастает угол дрейфа;**
- **падает скорость;**

*Из-за отклонения пера руля и появления угла дрейфа гидродинамические силы давления на корпус возрастают и превышают движущую силу, в результате чего наблюдается падение скорости.*

*При перекладке руля «на борт» для крупнотоннажных судов скорость снижается при повороте на  $90^\circ \approx$  на  $\frac{1}{3}$ , а при повороте на  $180^\circ$  – вдвое.*

- **радиус траектории постепенно уменьшается.**



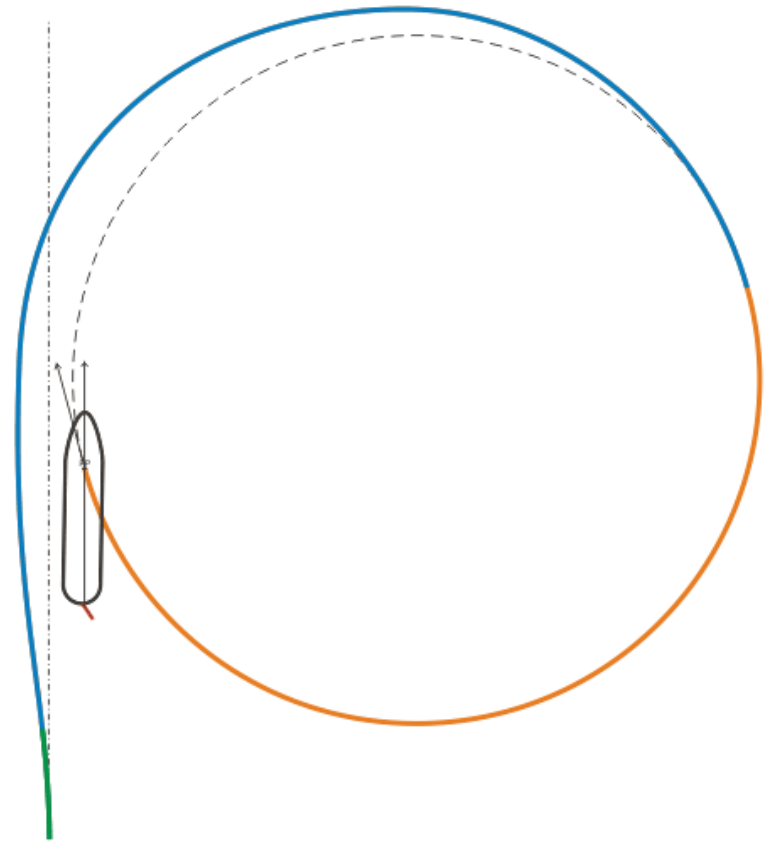
# Установившийся период циркуляции

**это период, начинающийся по окончании эволюционного.**

Характеризуется равновесием действующих на судно сил: упора винта, гидродинамических сил на руле и корпусе, центробежной силы.

На этом этапе траектория движения ЦТ судна превращается в траекторию правильной окружности (или близкой к ней).

Для большинства судов установившийся период циркуляции начинается после поворота на  $180^\circ$  (или близко к этому).



# Элементы циркуляции

**$D_o$  – диаметр установившейся циркуляции**

расстояние между диаметрными плоскостями судна на двух последовательных курсах, отличающихся на  $180^\circ$  при установившемся движении;

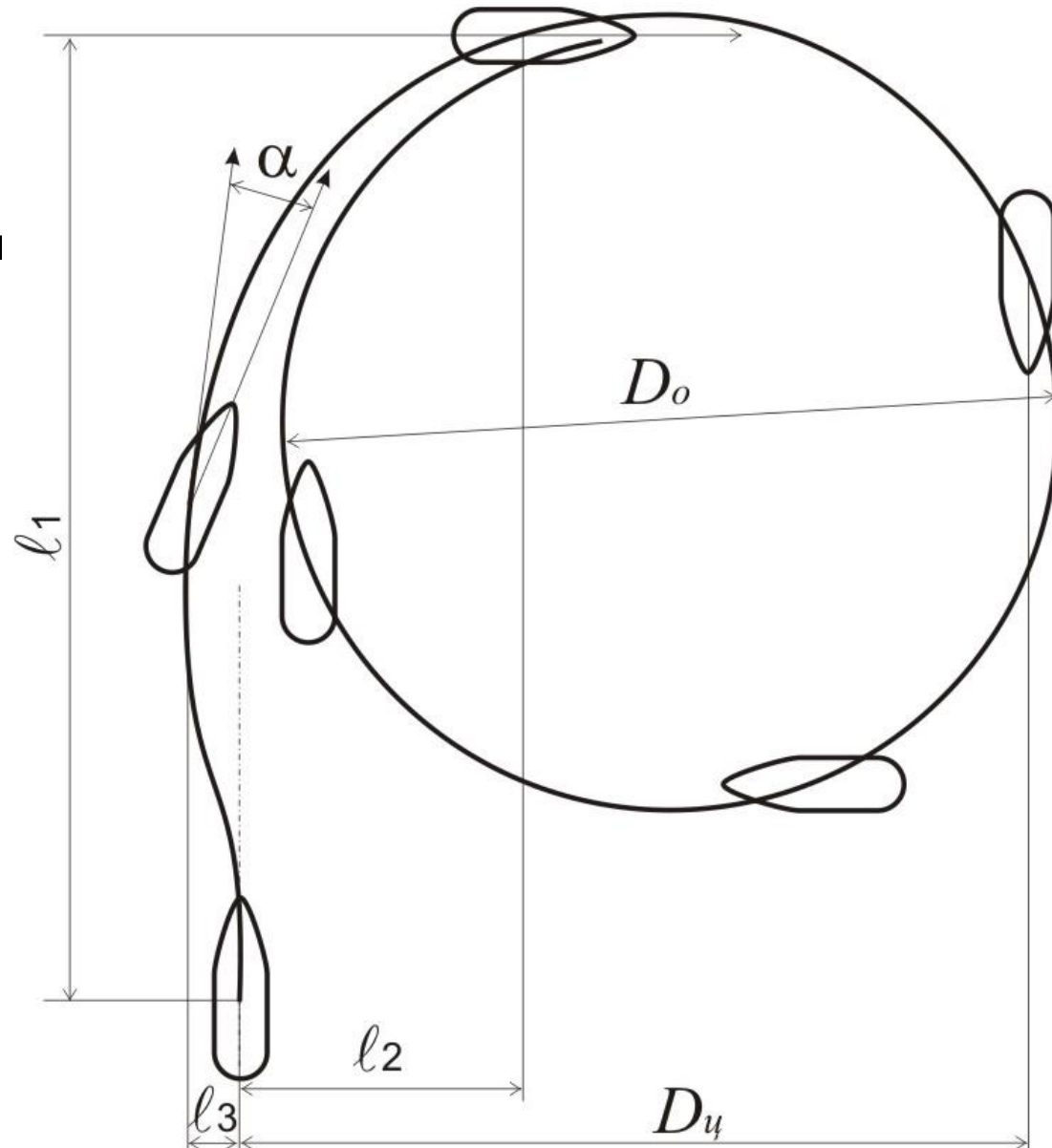
**$D_{ц}$  – тактический диаметр циркуляции**

расстояние между положениями ДП судна до начала поворота и в момент изменения курса на  $180^\circ$ ;

**$T_{ц}$  – период циркуляции**

время поворота судна на  $360^\circ$ ;

**$\alpha$  - угол дрейфа.**



# Элементы циркуляции

## $l_1$ – выдвиг

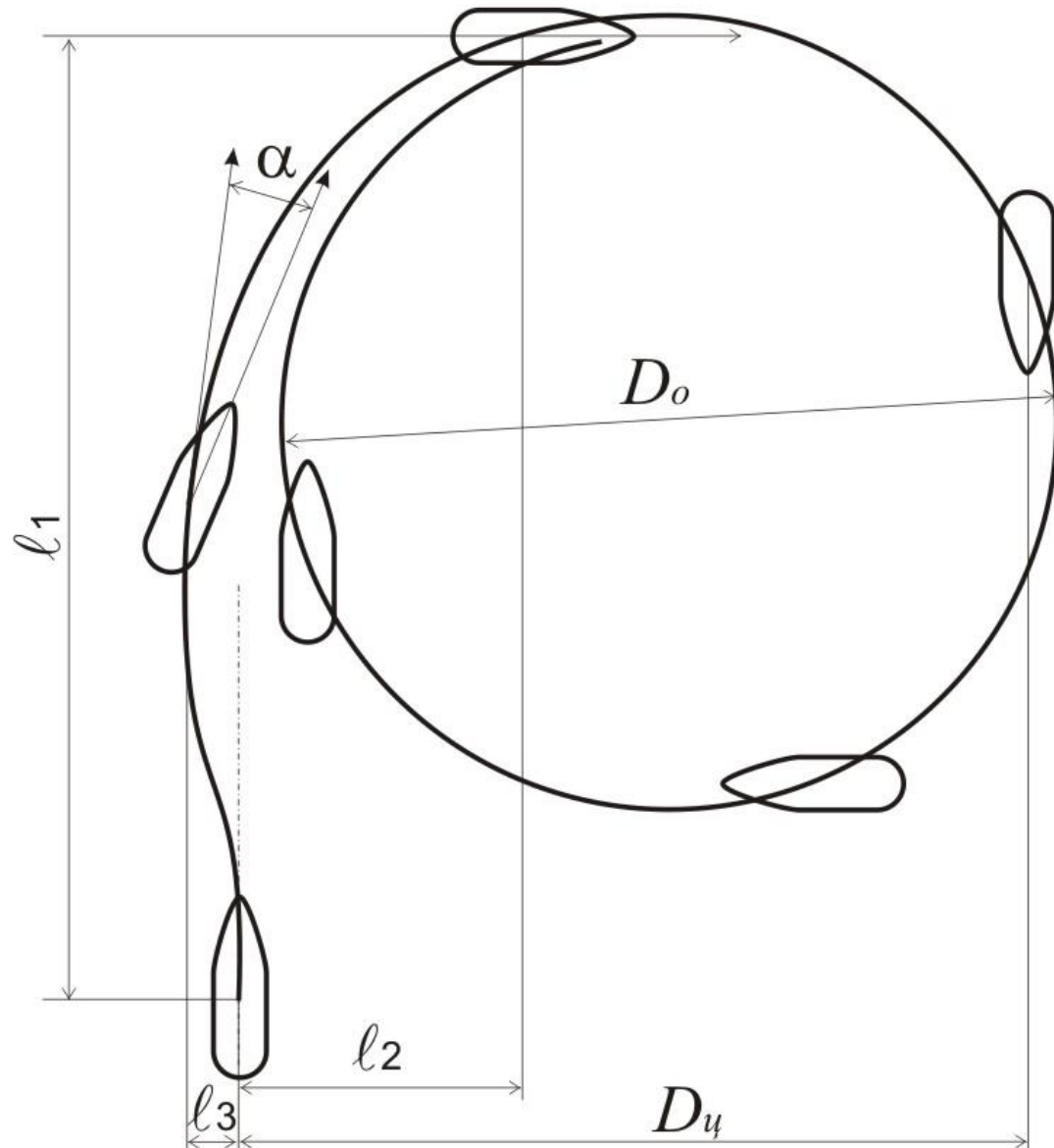
расстояние между положениями ЦТ судна перед выходом на циркуляцию до точки циркуляции, в которой курс судна изменяется на  $90^\circ$ ;

## $l_2$ – прямое смещение

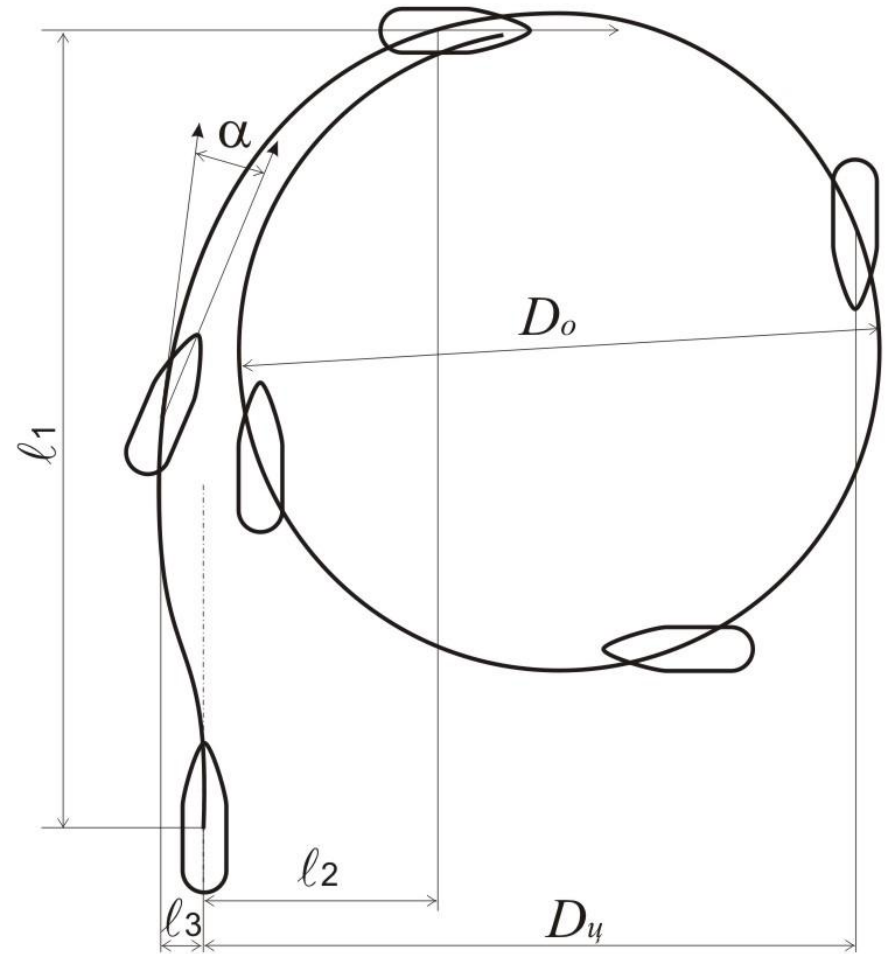
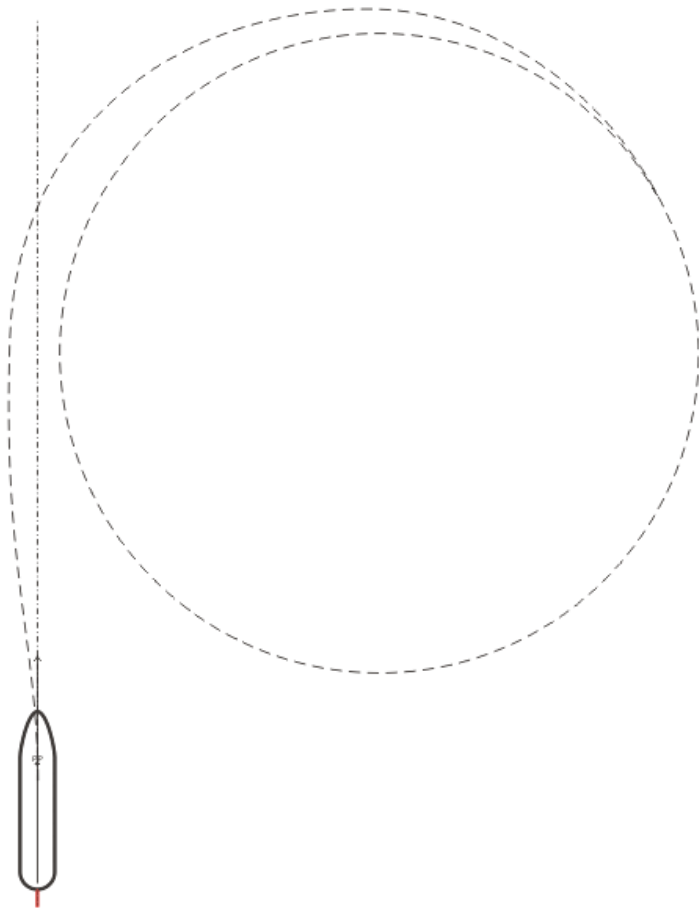
расстояние от первоначального положения ЦТ судна до положения его после поворота на  $90^\circ$ , измеренное по нормали к первоначальному направлению движения судна;

## $l_3$ – обратное смещение

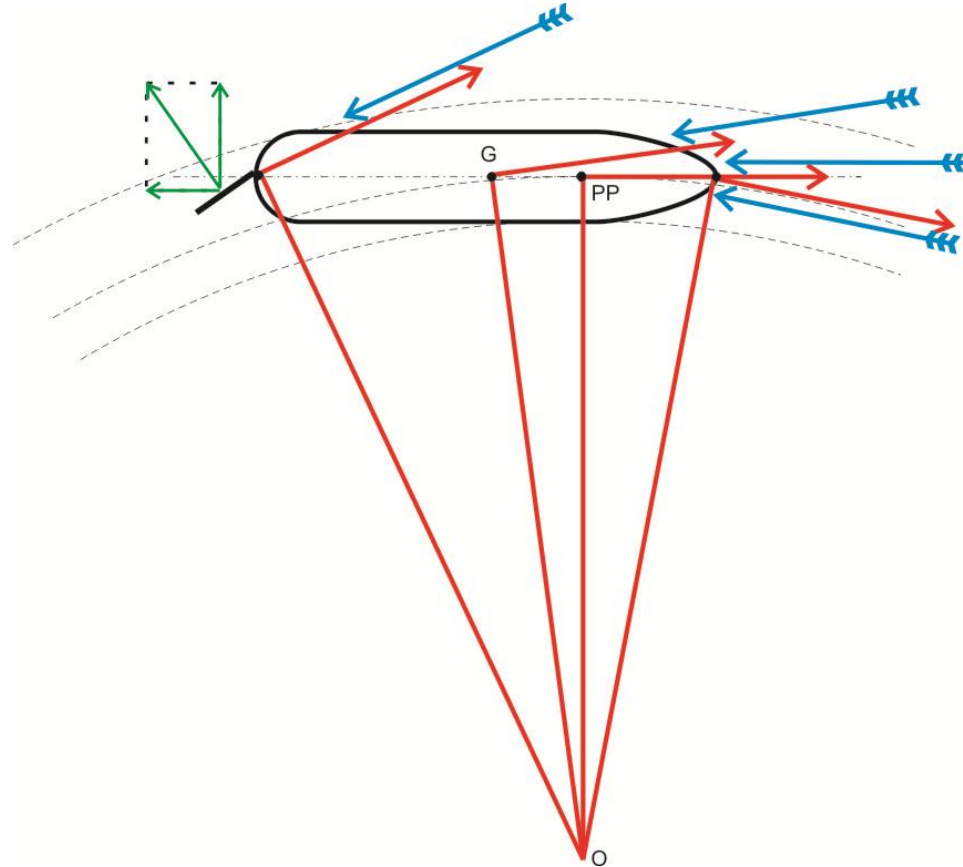
наибольшее смещение ЦТ судна в результате дрейфа в направлении, обратном стороне перекладки руля (обратное смещение обычно не превышает ширины судна  $B$ , а на некоторых судах отсутствует совсем);



# Элементы циркуляции



# Полоса движения



При маневрировании в стесненных условиях (узкость, рейдовая стоянка и т.п.) следует иметь ввиду, что

**полоса, занимаемая судном, существенно шире габаритной ширины корпуса судна.**