

ПРИЧИНЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА

Товстокорый О.Н.

Херсонская государственная морская академия

В работе предложено теоретическое обоснование причин и закономерностей изменения положения полюса поворота.

При управлении маневрированием обзорно-сравнительным способом оператору кажется, что вращение происходит вокруг него, в то время когда фактически происходит вокруг полюса поворота (ПП). Это приводит к неверной оценке расстояний до ориентиров и создает предпосылки для возникновения аварийной ситуации.

Знание причин и закономерностей перемещения ПП позволит достоверно оценить его положение в процессе маневрирования, что, зачастую, является крайне важным, особенно при управлении движением больших парусных судов.

Такое знание перемещения ПП может быть использовано на любых судах для повышения точности управления маневрированием при морских операциях.

Ключевые слова: полюс поворота, закономерности изменения положения ПП, вращающий момент судна, безопасность маневрирования.

Постановка проблемы в общем виде. При обзорно-сравнительном способе управления судном оператору кажется, что вращение происходит вокруг него, в то время когда фактически происходит вокруг полюса поворота (ПП). В большинстве случаев при таком маневрировании судна прибегают к глазомерной оценке его положения относительно знаков ограждения и руководит приложением управляющих воздействий на основании опыта по управлению конкретным судном и интуиции.

Это приводит к неверной оценке расстояний до ориентиров и создает предпосылки для возникновения аварийной ситуации. Вокруг ПП происходит вращение судна и угол дрейфа в нем равен 0^0 . При изменении точки приложения поперечных сил и появления моментов положение ПП изменяется, что существенно влияет на характер маневрирования. Особенно это проявляется при управлении большими парусными судами (БПС), для которых точку приложения поперечных сил корректно определить расчетным способом не представляется возможным. Знание причин и закономерностей перемещения ПП позволит достоверно учесть его положение в процессе управления. Поэтому учет всех факторов, влияющих на положение ПП, и изучение закономерностей его перемещения является актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] отмечается, что перемещение ПП зависит от отношения величины лобового сопротивления к движущей силе и направлено в сторону действия этой силы.

В работе [2] показано, что положение ПП зависит от точки приложения равнодействующих боковых сил и предложены формулы для расчета положения ПП для разных вариантов приложения сил.

В работе [3] автор утверждает, что при поворотах судно разворачивается вокруг вертикальной оси (центра вращения), проходящей через центр сил сопротивления.

В работе [4] приведены формулы расчета положения ПП при маневрировании в узкостях при различной ширине занимаемой полосы движения.

В работе [5] усовершенствованы алгоритмы расчета положения ПП при нескольких поперечных силах и получена формализованная модель расчета его положения с индикацией судоводителю на контуре ватерлинии.

В работе [6] приведены содержательные модели оценки положения ПП, полученные на основании личного производственного опыта выполнения практического маневрирования.

В работе [7] показано, что изменение положения ПП при маневрировании парусного судна происходит за счет изменения угла перекладки руля и набора парусов. Однако формализованные модели не приведены.

В работе [8] приведены результаты экспериментального определения ПП по тангенциальным скоростям носа и кормы. Однако ни в одном из источников не указаны причины и закономерности изменения положения полюса поворота.

Постановка задачи. Целью данной статьи является попытка теоретического обоснования причин и закономерностей изменения положения полюса поворота.

Изложение материала исследования. Для выяснения задачи исследования рассмотрим действие сил и моментов на судно.

Вариант 1. Судно неподвижно относительно воды. На него начинает действовать боковая сила F_b , приложенная в произвольной точке. Если она приложена на одной линии с положением центра бокового сопротивления (ЦБС), судно получает поступательное движение в сторону действия силы. Если же F_b приложена в любой другой точке, под ее действием судно начинает совершать сложное движение: боковое смещение в сторону действия силы и вращательное движение относительно какого-то неподвижного центра – полюса поворота (ПП), как рассмотрено в [2] и [4]. Рассмотрим это движение. Вращательное движение происходит благодаря паре сил: боковой F_b и силе сопротивления воды или гидродинамической силе F_c . Эта сила приложена в центре бокового сопротивления (ЦБС). Его положение зависит от положения ЦТ, положения ЦВ и полей давления в носу и в корме судна [6]. Мы не будем детально останавливаться на определении положения ЦБС, так как это уже было сделано в [6], а только лишь заметим, что ЦБС обычно находится недалеко от ЦТ, а при загрузке на ровный киль – недалеко от миделя. Согласно [2] можно определить положение ПП по графику зависимости от точки приложения боковой силы, а с помощью [5] – рассчитать положение ПП по формулам в зависимости опять же от положения точки приложения равнодействующей боковых сил. При расположении точки приложения боковой силы вблизи оконечностей судна ПП находится с другой стороны миделя на небольшом удалении от него. При приближении точки приложения боковой силы к миделю ПП удаляется, а при приближении боковой силы к миделю на расстояние, меньшее приблизительно 23 % от длины судна выходит за пределы корпуса. Это следует из графиков в [2] и [5]. Также следует заметить, что при приближении точки приложения к миделю плечо момента сил, разворачивающих судно (F_b и F_c), уменьшается. Следовательно, уменьшается и вращательный момент, действующий на судно. Из этого можно сделать вывод, что при уменьшении вращающего момента ПП отодвигается дальше от миделя, а при увеличении момента – приближается к миделю.

Теперь рассмотрим вариант 2: действие сил и моментов на движущееся судно. Для упрощения задачи возьмем случай, когда судно движется с выключенными двигателями по инерции со скоростью V с рулем в положении «прямо». На него действуют силы инерции $F_{ин}$, приложенная в центре тяжести ЦТ и сила сопротивления воды F_c . Так как на судно не действуют боковые силы, дрейф равен 0° , то положение плеча гидродинамической силы [2] можно определить согласно формуле (1)

$$\bar{\ell}_c = 0,5 + \frac{\ell_{bc}}{L} - \frac{\alpha^0}{180^\circ}, \quad (1)$$

где ℓ_{bc} – расстояние от центра бокового сопротивления (ЦБС) до миделя; α^0 – угол дрейфа.

Так как дрейфа нет, точка приложения F_c будет находиться на форштевне (рис. 1).

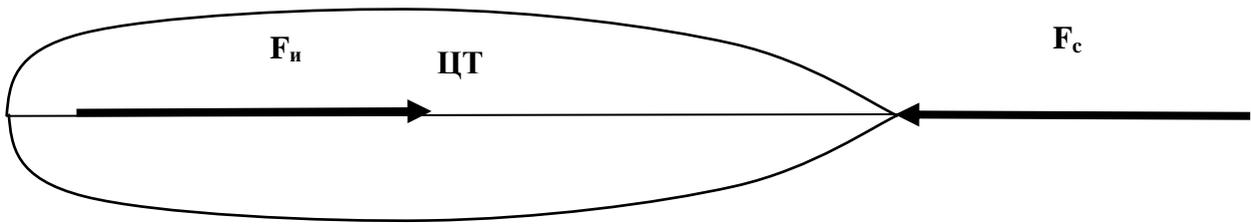
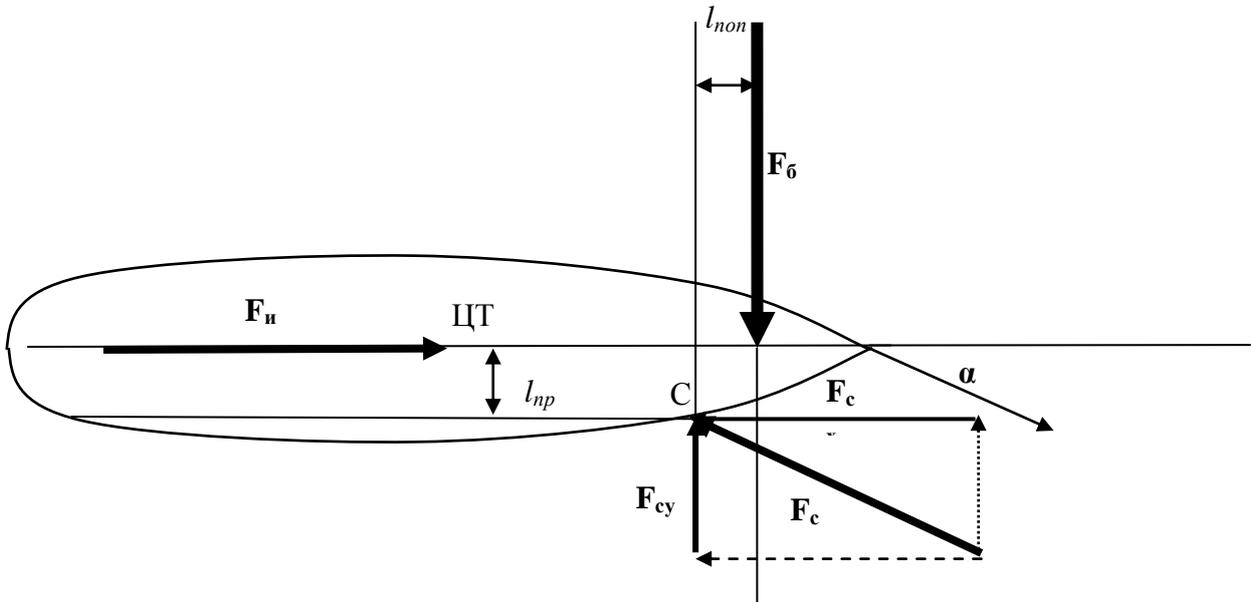


Рис. 1 – Судно движется прямолинейно по инерции

Теперь рассмотрим случай, когда на судно действует боковая сила $F_б$ (подруливающее устройство, буксир, парус и т.д). В случае нескольких боковых сил рассматриваем их равнодействующую. Точка приложения силы инерции не изменится. А точка приложения гидродинамической силы изменится. Появится угол дрейфа α , и согласно формуле (1) плечо силы F_c изменится. Точка приложения будет находиться ближе к миделю. Направление силы тоже изменится, так как она будет параллельна направлению набегающего потока воды. Кроме того сила сопротивления воды будет приложена не к точке на ДП, а к точке С на поверхности обшивки корпуса. Это утверждение рассмотрим как гипотезу. Силу F_c можно разложить на продольную составляющую F_{cx} и поперечную составляющую F_{cy} (рис. 2).


 Рис. 2 – Судно движется по инерции с приложением боковой силы $F_б$

Таким образом, согласно предлагаемой теории, образуются 2 пары сил: пара $F_и$ и F_{cx} (плечо l_{np}), действующих в продольном направлении и пара $F_б$ и F_{cy} (плечо l_{non}), действующих в поперечном направлении.

Рассмотрим, каким образом эти пары сил влияют на поведение судна. Момент пары $F_и$ и F_{cx} всегда пытается развернуть судно в сторону действия поперечной силы (в нашем случае – по часовой стрелке). Пара $F_б$ и F_{cy} может действовать по-разному. Это зависит от взаимного положения сил. В случае, когда $F_б$ будет находиться ближе к оконечности судна, чем F_{cy} , момент этой пара сил будет пытаться развернуть судно в том же направлении, что и пара продольных сил (рис. 3).

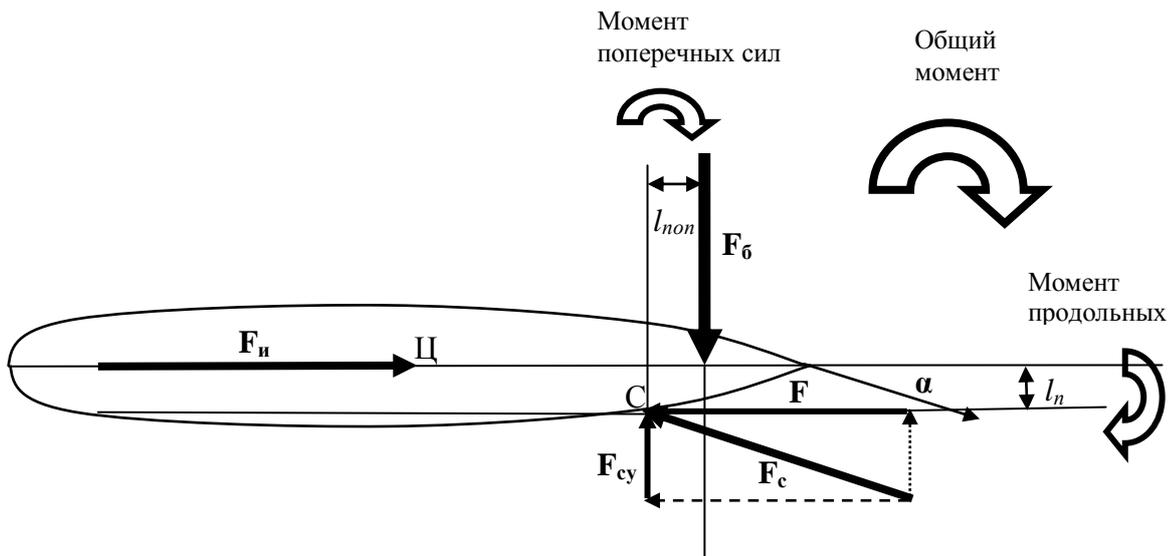


Рис. 3 – Судно движется по инерции с приложением боковой силы F_6 , точка приложения которой находится ближе к оконечности судна, чем точка приложения гидродинамической силы сопротивления F_c

В случае же, когда F_6 будет находиться дальше от оконечности судна, чем F_{cy} , момент этой пары будет пытаться развернуть судно в противоположном направлении (в нашем случае против часовой стрелки) (рис. 4).

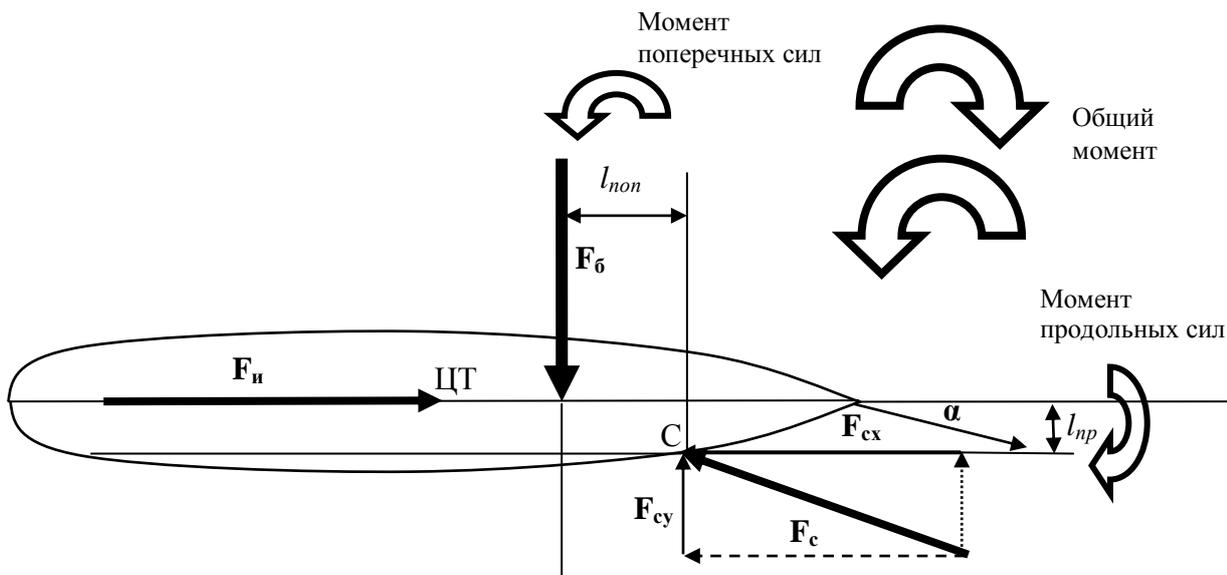


Рис. 4 – Судно движется по инерции с приложением боковой силы F_6 , точка приложения которой находится дальше от оконечности судна, чем точка приложения гидродинамической силы сопротивления F_c

Куда будет пытаться развернуться судно, то есть, куда направлен общий вращательный момент, будет зависеть от суммы (в случае одинакового направления) или разности (в случае противоположно направленных) моментов продольных и поперечных сил. А эти моменты уже будут зависеть от соотношения сил и положения точки приложения боковой силы. В общем случае вместо силы инерции следует рассматривать равнодействующую всех продольных сил, направленных в сторону движения судна, вместо боковой силы – равнодействующую всех боковых сил.

Что касается положения ПП, то оно так же, как и при неподвижном судне, будет зависеть от общего вращающего момента. При большом вращающем моменте ПП будет находиться недалеко от миделя, а при малом моменте – на большом от него расстоянии со

стороны миделя, противоположной от точки приложения боковой силы. Это все происходит в соответствии с предлагаемой теорией.

Это можно проиллюстрировать примерами. Так, следует рассмотреть примеры маневров ППС «Running on waves» под парусами [8]. Некоторые из них плохо объясняются классической теорией.

Интересны эксперименты 15, 15/1. В этих экспериментах движение происходит вперед по инерции, положение руля «прямо», а затем ставится парус на баке (бом-кливер или летучий кливер). Ветер дует слева. Боковая сила возникает за счет давления ветра на парус. В эксперименте 15 ставился бом-кливер (41 м^2 , отстояние ЦП от миделя + 24,21 м), а в эксперименте 15/1 – летучий кливер (96 м^2 , отстояние ЦП от миделя + 27,02 м).

В эксперименте 15 после постановки паруса курс судна за 120 секунд изменился не вправо, а влево с 003° до 346° . После замены бом-кливера на летучий кливер момент боковой силы был увеличен за счет увеличения площади паруса и увеличения плеча силы.

В результате в эксперименте 15/1 курс изменился вправо с 004° до 012° . Это подтверждает, что точки приложения боковой силы (силы давления ветра на парус) и гидродинамической силы сопротивления воды находятся очень близко друг от друга и при небольшом изменении точки приложения боковой силы вращательный момент изменил направление на противоположное.

Теперь рассмотрим положение полюса поворота в данных случаях. Так как расстояние между линиями действия сил, то есть плечо, мало, то и момент, создаваемый боковой силой мал. А это значит, полюс поворота должен отстоять далеко от миделя. Действительно, в эксперименте 15 положение полюса поворота на протяжении эксперимента менялось от 692 м до 1773 м относительно миделя, а в эксперименте 15/1 – от 2570 м до 1998 м. Столь большое различие в результатах объясняется тем, что замеры производились каждые 10 секунд (в течение 120 секунд – 13 замеров), ветер в любом случае менялся, следовательно, менялась и боковая сила, а от нее – и момент поперечных сил. Момент продольных сил зависел только лишь от скорости судна, а она за это время почти не изменялась.

Эксперимент 21. В этом эксперименте судно двигалось назад по инерции, ветер был слева. Боковая сила создавалась ветром в поставленный крюйс–стенг–стаксель (120 м^2 , отстояние центра парусности от миделя – $7,67\text{ м}^2$). При движении назад судно должно было уваливаться кормой под ветер, т.е. нос должен был идти на ветер – влево. В эксперименте нос пошел вправо с 342° до 25° . Это объясняется тем, что точка приложения боковой силы находилась ближе к миделю, чем точка приложения гидродинамической силы. Поэтому пара поперечных сил стремилась вращать судно по часовой стрелке, а пара продольных – против. Так как скорость судна была невелика и все время уменьшалась (от 2,2 до 1,3 узла), то момент поперечных сил был больше момента продольных и общий момент разворачивал судно по часовой стрелке. Кроме того сказалось то, что парус начал работать вперед и гасить скорость заднего хода. Но момент оставался небольшим и положение полюса поворота менялось от 22,8 м до 142,5 м вперед от миделя (среднее значение +68,83 м).

Выводы. Гидродинамическая сила сопротивления воды приложена к точке на обшивке корпуса и в общем случае продольная составляющая силы сопротивления воды направлена не ПО ДП, а параллельно ей. По мнению автора, положение полюса поворота зависит от величины и знака суммарного вращательного момента судна: чем момент больше, тем ППС ближе к миделю и наоборот. Знак определяет, в какую сторону от миделя расположен ППС. При движении судна общий вращательный момент судна зависит от суммы или разности моментов продольных и поперечных сил, действующих на судно.

При движении парусного судна вперед для эффективного поворота судна под ветер необходимо приложить воздействие, приводящее к созданию сильного вращающего момента в нужном нам направлении, для того, чтобы судно увалилось.

Предложенная теория требует подтверждения и детальной проработки. Поэтому эксперименты и исследования по данной теме следует продолжить.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генри Г. Хойер. Управление судами при маневрировании / Генри Г. Хойер. Перевод с английского. – М. : Транспорт, 1992. – 101 с.
2. Управление судном / С. И. Демин, Е. И. Жуков и др. – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.
3. Шарлай Г. Н. Управление морским судном / Г. Н. Шарлай. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2009. – 503 с.
4. Павельев А. Д. Определение положения полюса поворота и его учет при маневрировании судна ; дис. ... канд. техн. наук. – Режим доступа к источнику : <http://www.dissercat.com/content/opredelenie-polozheniya-polyusa-povorota-i-ego-uchet-pri-manevrirovanii-sudna-0>
5. Голиков В. В. Алгоритм определения положения полюса поворота морского судна / В. В. Голиков, С. Э. Мальцев // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – № 1(8). – С. 21-27.
6. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point / The PILOT №295. October 2008. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association.
7. G. Andy Chase. Sailing Vessel Handling and Seamanship-The Moving Pivot Point / The Northern Mariner/Le Marin du nord, IX, No. 3 (July 1999), 53-59.
8. Товстокорый О. Н. Экспериментальное определение положения полюса поворота по тангенциальным скоростям носа и кормы / О. Н. Товстокорый // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал – Херсон : Видавництво ХДМА, 2014. – № 1(10). – С. 57-63.

Товстокорый О.М. ПРИЧИНИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

У роботі запропоновано теоретичне обґрунтування причин та закономірностей змінення положення полюсу повороту.

Під час керування маневруванням оглядово-порівнювальним способом оператору здається, що обертання відбувається навколо нього, в той час, коли воно фактично відбувається навколо полюсу повороту (ПП). Це призводить до невірної оцінки відстаней до орієнтирів та створює передумови для створення аварійної ситуації.

Знання причин та закономірностей переміщення ПП достовірно оцінити його положення у процесі маневрування, що вкрай важливо, особливо під час керування великими вітрильниками.

Таке знання переміщення ПП може бути використаним на будь-яких суднах для підвищення точності маневрування під час виконання морських операцій.

Ключові слова: полюс повороту, закономірності змінення положення ПП, обертаючий момент судна, безпека маневрування.

Tovstokoryi O. REASONS AND CONSISTENT PATTERNS OF CHANGING OF POSITION OF PIVOT POINT

This article deals with the theoretical justification of reasons and consistent patterns of the pivot point position changing.

Due to application of comparative method during ship handling it may seem to the operator that the vessel rotates around him, although in reality the vessel rotates around the pivot point (PP). It can lead to false distance assessment to landmarks and cause an emergency.

The awareness of reasons and consistent patterns of PP position changing will allow to assess his position during maneuvers. This quite often becomes essential, especially during maneuvers of big sailing ships.

Such knowledge of the PP position changing can be adjusted to any ships in order to increase accuracy of ship handling during operations at sea.

Keywords: pivot point, reasons and consistent patterns of PP position changing, turning momentum of the vessel, safety of navigation.

© Товстокорый О.М.

Статтю прийнято
до редакції 28.10.14