



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА ПО ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМ СКОРОСТЯМ НОСА И КОРМЫ

**Товстокорый О.Н.**

*Херсонская государственная морская академия*

*В работе предложен новый способ экспериментального определения положения полюса поворота по измерению характера распределения местных тангенциальных скоростей на кормовом и носовом перпендикулярах.*

*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.*

*При изменении точки приложения поперечных сил положение ПП изменяется, что существенно влияет на характер маневрирования. Особенно это проявляется при маневрировании больших парусных судов (БПС), для которых точку приложения поперечных сил корректно определить расчетным способом не представляется возможным. Поэтому экспериментальное определение положения ПП БПС является весьма актуальным.*

*Способ определения мгновенного положения полюса поворота может быть использован на любых судах для повышения точности управления судном при морских операциях.*

*Ключевые слова: полюс поворота, боковые силы, плечо боковой силы, плечо полюса поворота, тангенциальные скорости.*

**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 судоводитель прибегает к глазомерной оценке и руководит приложением управляющих воздействий на основании своего 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 и угол дрейфа в нем равен  $0^0$ . При изменении точки приложения поперечных сил положение ПП изменяется, что существенно влияет на характер маневрирования. Особенно это проявляется при маневрировании больших парусных судов (БПС), для которых точку приложения поперечных сил корректно определить расчетным способом не представляется возможным. Поэтому экспериментальное определение положения ПП позволяет, как уточнить расчетные методы определения положения ПП, так и получить закономерности его перемещения при маневрировании. Поэтому экспериментальное определение положения ПП БПС является весьма 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 равнодействующей 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] усовершенствовано 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.

**Постановка задачи.** Для уточнения закономерностей изменения положения ПП при маневрировании парусного судна и проверки существующих формализованных моделей необходимо экспериментально установить характер изменения точек приложения боковых сил, определить положение ПП и сравнить его значение с полученными расчетными величинами.

**Изложение материала исследования.** Эксперименты проводились на пассажирском парусном судне «Running On Waves» (RoW) в августе 2013 года в Эгейском море.

ППС «Running On Waves» – 3-мачтовая баркентина, постройки 2011 года в Гданьске (Польша). Длина 63,8 м, ширина – 9,5 м, осадка – 3,45 м, GT – 634 т, водоизмещение – 700 т. Несет 13 парусов общей площадью 1107 м<sup>2</sup>. Имеет двигатель *AB Penta Volvo* мощностью 478 kW и подруливающие устройства в носу и в корме мощностью по 110 kW. И главный двигатель и подруливающие устройства оборудованы винтами регулируемого шага. Кроме того ВРШ ГД может устанавливаться во флюгерное положение для уменьшения сопротивления при плавании под парусами.

На судне был произведен ряд экспериментов при движении под машиной, под парусами, при отсутствии движения. Эксперименты производились согласно нижеприведенной схеме (рис. 1).

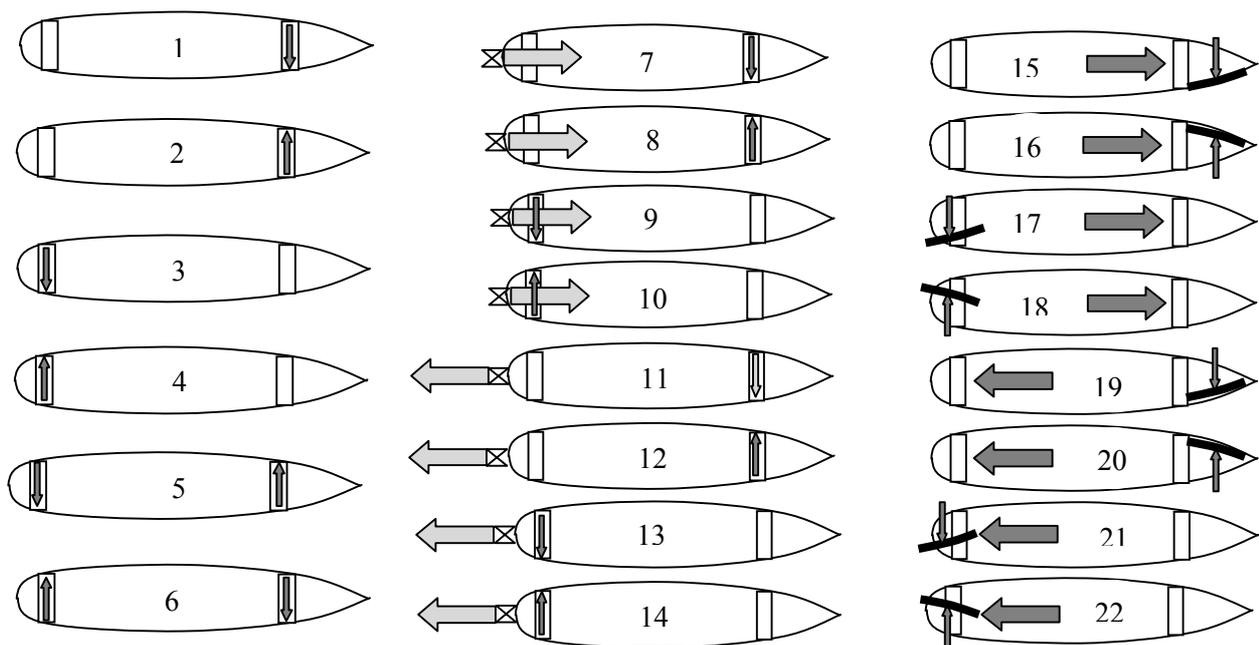


Рисунок 1 – Схема экспериментов на ППС «Running on Waves»

Руль при экспериментах не использовался, оставался все время в положении «прямо». Боковая сила создавалась либо за счет подруливающих устройств, либо за счет парусов, поставленных в оконечностях судна.

При эксперименте скорость и направление движения носа и кормы замерялись с помощью портативных спутниковых определителей положения места «GARMIN eTrex 30» (точность до +/- 5 м). Они располагались на носовом и кормовом перпендикулярах и расстояние между ними было 45 м. Положение мостика определялось с помощью стационарной GPS SIMRAD GN33. Курс – с помощью гирокомпаса SIMRAD GC80 (точность +/- 1<sup>0</sup>), сила и направление ветра с помощью анемометра WALKER 7070 (точность по скорости +/- 1 узел, по направлению +/- 10<sup>0</sup>).



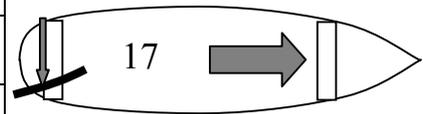
Всього було проведено 24 експеримента, причем некоторые повторялись с измененными начальными условиями.

Результатом каждого эксперимента являлась таблица, где были записаны данные по эксперименту: вид движения, боковая сила, точка приложения этой силы, дата и время начала эксперимента, координаты, ветер, глубина, а также скорость и направление движения носа, кормы и мостика.

Ниже приведена, как пример, табл. 1 для эксперимента 17.

Таблица 1 – Эксперимент 17

Направление движения	Вперед												
Боковая сила	Ветер		Кр.ст.стаксель										
Точка приложения боковой силы													
Дата	19.08.13												
Время	09.51												
Координаты	36°54',1 N		27°18',1 E										
Ветер	10-12 узлов		W										
Глубина	18 – 30 м												
Время	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Скорость н.	6,4	6,2	5,9	5,4	5,5	5,5	4,2	4,2	3,9	3,6	3,5	2,8	2,5
Курс н.	25	25	23	19	14	10	7	5	4	1	354	354	344
Скорость к.	6,4	6,4	6,3	5,4	5,2	4,9	4,6	4,4	4,4	4,1	3,5	3,3	3,0
Курс к.	41	34	30	28	21	21	20	16	16	14	9	8	2
Скорость м.у.	3,4	3,4	3,2	3,3	2,9	2,7	2,7	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7
Курс м.	20	16	12	9	5	1	358	354	350	346	342	339	336
Плечо ПП	37,0	65,8	81,2	73,9	90,1	70,0	50,2	65,1	65,6	64,7	59,8	60,5	38,7



В случае, когда судно не имеет хода, положение ПП можно получить путем сравнения скоростей носа и кормы (рис. 2).

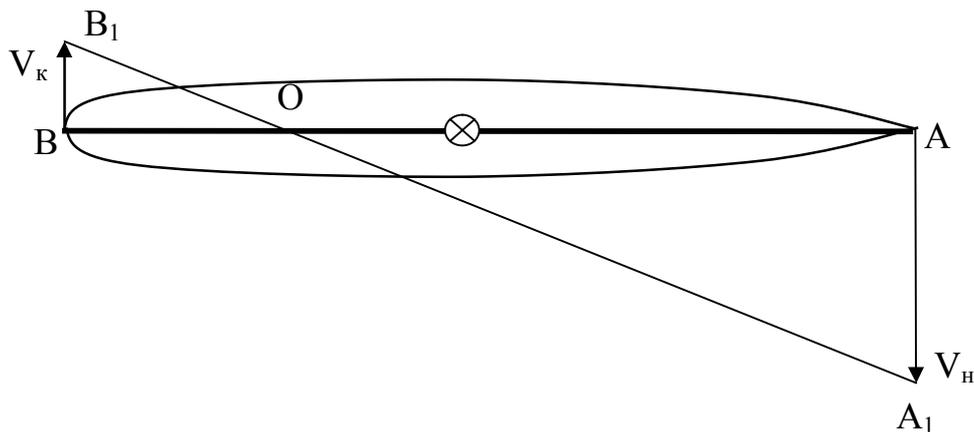


Рисунок 2 – Схема определения ПП в случае, когда судно не имеет хода

$$AA_1 / BB_1 = AO / OB$$

или же

$$V_n / V_k = AO / OB.$$

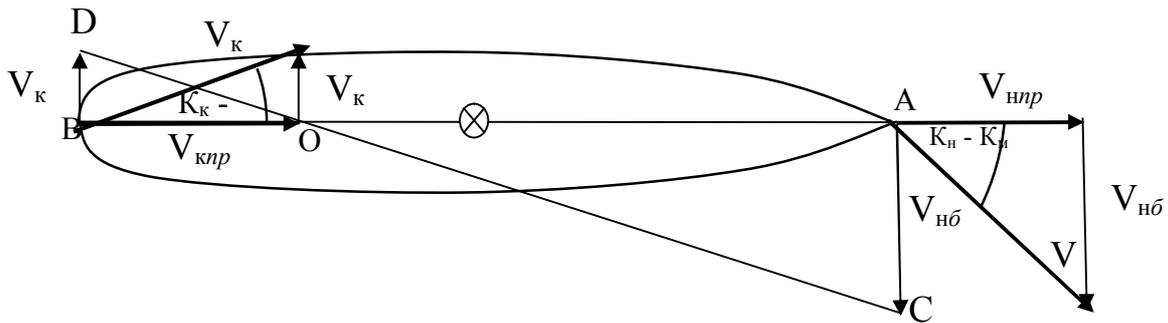


Рисунок 3 – Схема определения полюса поворота, когда судно имеет ход и скорости носа и кормы направлены в стороны противоположных бортов

Рассмотрим поворот судна (рис. 3). Точки А и В показывают положение носового и кормового датчиков. Кормовой и носовой датчики показывают значение курса и скорости носа и кормы (точек А и В) –  $V_n, K_n$ ; и  $V_k, K_k$  соответственно. Из точек расположения датчиков строим векторы скоростей носа и кормы в масштабе под углами  $K_n - K_m$  и  $K_k - K_m$ . Откладываем их по часовой стрелке, если они положительны, и против, если отрицательны.

$V_n$  и  $V_k$  раскладываем на продольные (аксиальные) и поперечные (тангенциальные) составляющие  $V_{npr}, V_{nob}$  и  $V_{kpr}, V_{kob}$ . Переносим  $V_{nob}$  и  $V_{kob}$  в точки расположения датчиков и в дальнейшем задача получает то же самое решение, что и в случае без хода, только используются боковые (поперечные) составляющие скоростей носа и кормы.

$$V_{nob}(AC) = V_n \sin(K_n - K_m),$$

$$V_{kob}(BD) = V_k \sin(K_k - K_m),$$

а

$$V_{nob}(AC) / V_{kob}(BD) = AO / OB.$$

В случае, когда векторы скоростей носа и кормы направлены в сторону одного борта (рис. 4), картина несколько иная. Соединяем концы векторов скорости и проводим линию до пересечения с продолжением ДП судна. Получаем  $\Delta ACO$ , где искомыми величинами являются  $AO$  или  $OB$ .

$$V_{nob}(AC) = V_n \sin(K_n - K_m),$$

$$V_{kob}(BD) = V_k \sin(K_k - K_m),$$

$$V_{nob} - V_{kob} / AB = V_{kob} / OB.$$

Отсюда

$$OB = AB \times V_{kob} / (V_{nob} - V_{kob}).$$

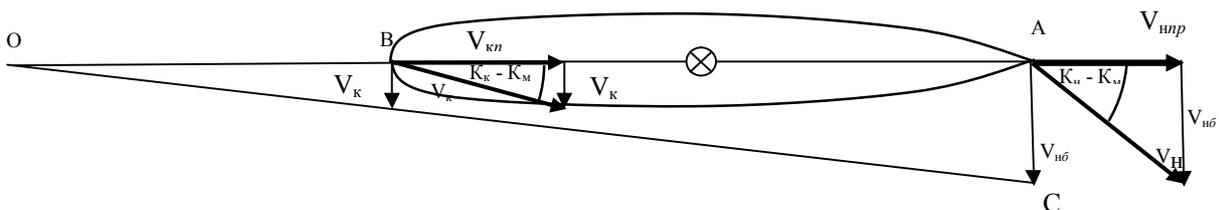


Рисунок 4 – Схема определения полюса поворота, когда судно имеет ход и скорости носа и кормы направлены в сторону одного борта



Произведен расчет плеч ПП. Плечо ПП отсчитывалось от миделя со знаком (+) в нос и со знаком (-) в корму.

По данной методике были рассчитаны плечи ПП для всех экспериментов.

Так, например, плечо ПП рассчитано для эксперимента 22 на 20 секунде при  $K_H=141^\circ$ ,  $K_K=163^\circ$ ,  $K_M=149^\circ$ ,  $V_H=2,2$  км/ч,  $V_K=2,1$  км/ч. Плечо ПП=5,58м от миделя (рис. 5).

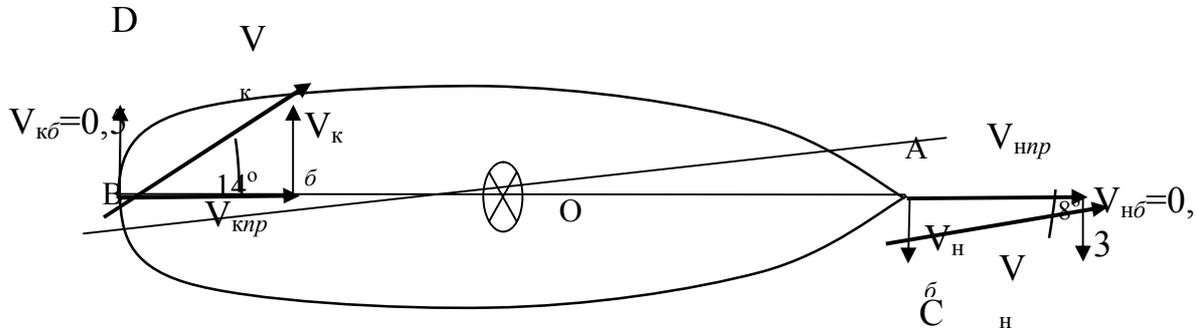


Рисунок 5 – Эксперимент 22, секунда 20

Плечи ПП для остальных экспериментов определены аналогичным образом.

Плечо полюса поворота можно также определить расчетным способом по методике, приведенной в [5]. Для этого будем считать, что мы находимся в начальной фазе эксперимента в момент приложения боковой силы. Дрейфа и угловой скорости от этой боковой силы еще нет. Поэтому боковая гидродинамическая сила отсутствует. В таком случае в наличии только одна боковая сила в каждом эксперименте, точку приложения которой можно определить по вышеупомянутой методике. По этой же методике определяется плечо полюса поворота.

Результаты экспериментов и расчетные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов и экспериментальные данные по определению положения ПП во всех экспериментах

№ эксперимента	Расчетное значение плеча ПП	Экспериментальное значение плеча ПП
1	-8,58м	-2,25м
2	-8,58м	-9,0м
3	10,13м	-8,1м
4	10,13м	3,15м
5	0,74м	-1,35м
6	0,74м	2,25м
11	-8,58м	-11,94м
12	-8,58м	-7,29м
13	10,13м	5,23м
17	39,99м	63,27м
18	39,99м	87,42м
19	-6,27м	-29,43
21	39,99м	66,83м

Теперь время проанализировать результаты экспериментов.

Эксперименты с 1 по 6 производились на стоящем судне. Эксперименты с 7 по 14 – на судне, движущемся под машиной. Эксперименты с 15 по 22 на судне, движущемся по инерции и под парусами.

В экспериментах 1,2, 4, 5,6,11 – 13,17 – 19, 21 расчетные и экспериментальные данные близки. В остальных экспериментах есть различия. Причина низкой точности



совпадений расчетных и экспериментальных данных в точности переносных определителей места и отсутствии пересчета координат на центр тяжести.

### Выводы и предложения

1. Способ определения мгновенного положения полюса поворота может быть использован на любых судах для повышения точности управления судном при морских операциях.
2. Положение полюса поворота постоянно меняется при выполнении маневра и необходимо определять мгновенное положение полюса поворота.
3. Для парусного судна, чтобы увалиться под ветер на ходу, требуется значительный момент боковой силы (дополнительные паруса на носу, перекладка руля под ветер, использование подруливающих устройств).
4. Для уточнения закономерностей изменения положения ПП исследования целесообразно продолжить.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генри Г. Хойер. Управление судами при маневрировании / Генри Г. Хойер : перевод с английского. – М. : Транспорт, 1992 – 101 с.
2. Демин С. И. 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. кандидата технических наук / А. Д. Павельев [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <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 official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association. – The PILOT № 295. – October 2008.
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.

### **Товстокорий О.М.** ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ ЗА ТАНГЕНЦІАЛЬНИМИ ШВИДКОСТЯМИ НОСА ТА КОРМИ

*У роботі запропонований новий метод експериментального визначення положення полюсу повороту по змінному характеру розподілення місцевих тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах.*

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

*При змінненні точки прикладення поперечних сил положення ПП змінюється, що суттєво впливає на характер маневрування. Особливо це проявляється при маневруванні великих вітрильних суден (ВВС), для яких точку прикладення поперечних сил коректно не представляється можливим. Тому експериментальне визначення положення ПП ВВС є досить актуальним. Спосіб визначення миттєвого положення полюсу повороту може бути використаним на будь-яких судах для підвищення точності керування судном при морських операціях.*

*Ключові слова: полюс повороту, бокові сили, плече бокової сили, плече полюсу повороту, тангенціальні швидкості.*



**Tovstokoryi O.** EXPERIMENTAL DETERMINATION OF POSITION OF PIVOT POINT BY TANGENTIAL VELOCITIES OF BOW AND STERN.

*The new method of experimental determination of position of pivot point by changes of character of distribution of local tangential velocities on the fore and aft perpendiculars is presented in this article.*

*During ship handling using overview and comparative method it seems for operator, that vessel rotates around him, when in reality vessel rotates around pivot point (PP). It causes wrong assessment of distances to landmarks and creates background for emergency situation.*

*In case of changes in position of point of application of lateral forces position of PP also changes. It considerably affects to character of maneuvers. Especially such effect appears during maneuvers of tall ships (TS), for which position of application of lateral forces cannot be determine correctly by calculation method. Due to this experimental determination of position of PP for TS is quite topical.*

*Method of determination of instantaneous position of pivot point can be used at any ships for increasing of accuracy of ship handling during marine operations.*

*Key words: pivot point, lateral forces, lever of lateral forces, lever of pivot point, tangential velocities.*

Статтю прийнято  
до редакції 25.04.14.