

УДК 656.61.052

EXSPERIMENTAL DETERMINATION OF POSITION OF PIVOT POINT BY ASSISTANCE OF DOPPLER LOG**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА С ПОМОЩЬЮ ДОПЛЕРОВСКОГО ЛАГА**

O. N. Tovstokoryi¹, *PhD, associate professor, captain*
S.E. Maltsev², *junior scientist*

О.Н. Товстокорый, *к.д.п., к.т.н., доцент*
С.Э. Мальцев, *младший научный сотрудник*

¹*Kherson state marine academy*

²*National University «Odessa marine academy»*

¹*Херсонская государственная морская академия*

²*Национальный университет «Одесская морская академия»*

ABSTRACT

The new method of experimental determination of position of pivot point by assistance of Doppler log 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.

Position of Pivot Point is possible to determine by different methods, for example, by method of determination of local tangential velocities with assistance of GPS indicators. Determining the position by this method, we obtain position from the ground. Current is not taking in consideration. Using Doppler log except obtaining of local tangential velocities also speed and direction of current can be obtained. This information can be used when you obtain data about position of pivot point.

Method of determination of instantaneous position of pivot point by assistance of Doppler log can be used at any ships equipped with such log for increasing of accuracy of ship handling during marine operations.

Keywords: pivot point, tangential velocities, Doppler log, speed and direction of current.

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 и интуиции по управлению конкретным судном.

Это приводит к неверной оценке расстояний до ориентиров и создает предпосылки для возникновения аварийной ситуации. Вокруг ПП происходит вращение корпуса и угол дрейфа от поворота в нем равен 0° . При изменении точки приложения поперечных сил положение ПП изменяется, что существенно влияет на характер маневрирования. Точку приложения поперечных сил корректно определить расчетным способом не всегда представляется возможным. В то же время экспериментальное определение положения ПП позволяет, как уточнить расчетные методы определения положения ПП, так и получить закономерности его перемещения при маневрировании, поэтому исследование положения ПП в натуральных условиях является весьма актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций

В работе [1] приведено и решено дифференциальное уравнение зависимости абсциссы полюса поворота (ПП) от плеча поперечной силы и показано, что ПП и точка приложения поперечной силы расположены по разные стороны от центра тяжести судна и установлен характер их относительного перемещения. Однако методика экспериментального определения не рассматривалась, а алгоритм расчета абсциссы ПП при нескольких поперечных силах не приведен.

В работе [2] 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 [3] приведены формулы расчета положения ПП при маневрировании в узкостях при различной ширине занимаемой полосы движения, однако алгоритмы расчета абсциссы ПП не разработаны.

В работе [4] усовершенствовано алгоритмы расчета положения ПП при нескольких поперечных силах и получена формализованная модель расчета его положения с индикацией судоводителю на контуре ватерлинии.

В работе [5] приведены содержательные модели оценки положения ПП, полученные на основании личного производственного опыта выполнения практического маневрирования. Однако формализация содержательных моделей не произведена.

В работе [6] показано, что положение абсциссы ПП можно определять по тангенциальным скоростям носа и кормы при наличии датчиков векторов скорости в этих точках.

Постановка задачи

Для определения положения ПП при маневрировании судна необходимо использовать высокоточные методы оперативного определения тангенциальных скоростей оконечностей судна относительно воды, с учетом внешних возмущений, для определения абсциссы положения ПП.

Изложение материала исследования

Для исследования способа учета течения при определении положения ПП эксперименты проводились на высоко энергетическом буксире- снабженце

“RAWABI 15” в феврале 2014 года в Персидском заливе. Оно оборудовано современным высокоточным навигационным устройством, включая четырех лучевой доплеровский лаг.

Судно “RAWABI 15” является буксиром – якорю завозчиком - снабженцем для обслуживания объектов на шельфе. GRT 1714 ton, NRT 514 ton, водоизмещение 3054 тонны, длина 59.85м, длина между перпендикулярами 52,8м, ширина 14,95м, максимальная осадка 5,11м. Имеет 2 двигателя Caterpillar 3516(5)1800 Rpm мощностью 2х3000 л.с. (суммарный упор винтов 72,85 т), 2 носовых подруливающих устройства по 650kW(упор по 10т) и 1 кормовое подруливающее устройство мощностью 400kW(упор 6т). Имеет следующее навигационное оборудование: GPS – FURUNO GP-150, DOPPLER SPEED LOG – FURUNO DS-60, GYRO COMPASS RAYTHEON ANSCHUTZ Digital Gyro STD 22, AUTO PILOT RAYTHEON ANSCHUTZ NP60, AIS FURUNO FA-150.

Лаг FURUNO DS-60 имеет следующую точность: скорость относительно грунта (при скорости менее 1 узла) +/- 0.01м/с; скорость относительно грунта (при скорости более 1 узла) +/- 1% или +/- 0,1 узла (в зависимости, что больше); скорость относительно воды +/- 1% или +/- 0,1 узла (в зависимости, что больше); скорость бокового перемещения +/- 1% или +/- 0,04 узла(в зависимости, что больше). Диапазон глубин применения – от 0 до 200м.

Допплеровский лаг по своему физическому смыслу может показывать скорость центра тяжести судна относительно грунта, как, собственно, и GPS. Кроме того он может вычислять и показывать скорость и направление течения относительно грунта, а также тангенциальные скорости оконечностей.

Положение же полюса поворота на судне определяется относительно воды, и чтобы определить положение ПП судна следует определить относительные тангенциальные скорости оконечностей и по ним определить положение ПП.

Судно производило маневры и результаты маневров, отраженные на экране Допплеровского лага, фотографировались. Ниже на рис.1 предоставлен результат эксперимента 11/7.

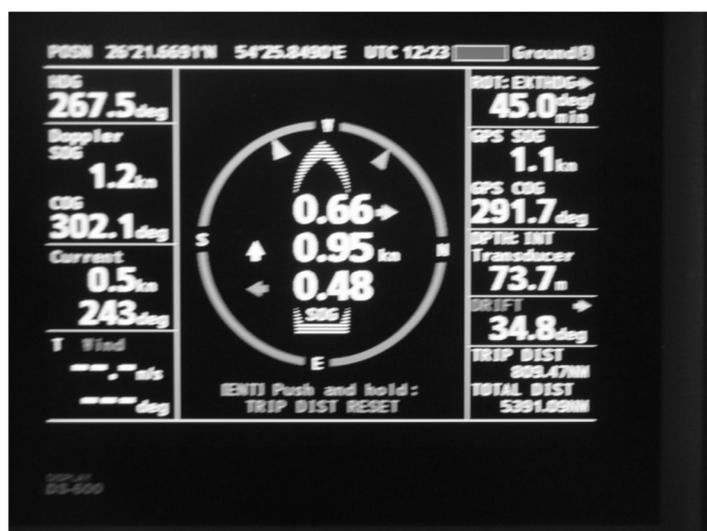


Рис.1 Экран лага FURUNO DS-60 для эксперимента 11/7

Эксперименты выполнялись по следующей схеме чередования маневров, приведенной на рис.2. При этом использовалось носовое и кормовое подруливающее устройство, а также работа машинами на упор переднего и заднего ходов.

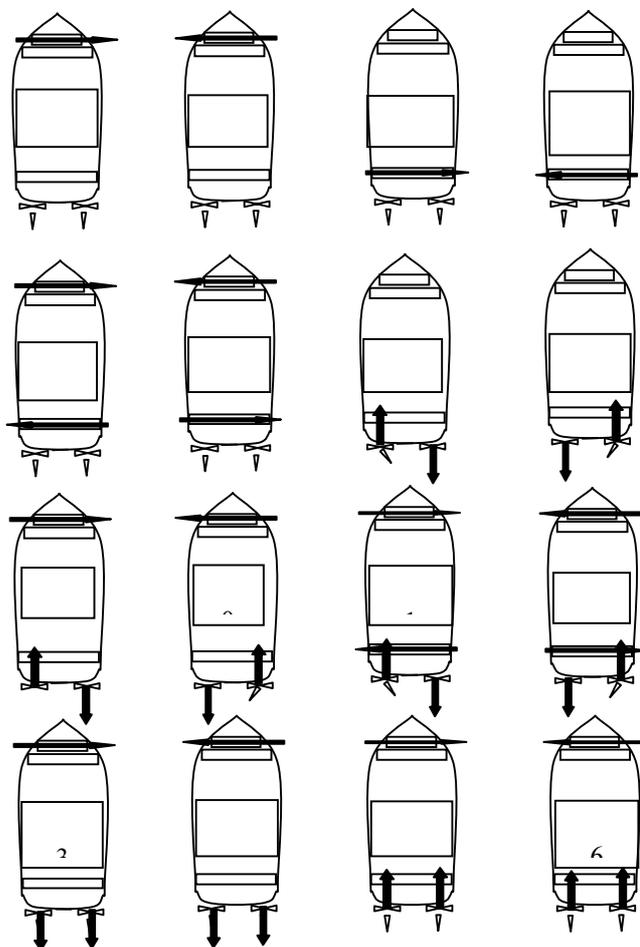


Рис.2 Схемы выполнения экспериментов на т/х “RAWABI 15”

На экране доплеровского лага в центральной части показывается продольная скорость судна (вперед или назад) и тангенциальные скорости носа и кормы (вправо или влево). Слева сверху показан курс судна, ниже – общая скорость и путь судна по доплеровскому лагу, еще ниже – курс и скорость течения. Справа сверху – угловая скорость судна, ниже – общая скорость судна и путь по GPS, глубина и дрейф судна. Еще ниже – дистанция, пройденная в данном рейсе и общая дистанция, пройденная при работающем лаге. Вверху над таблицей показываются координаты судна и время UTC.

Для определения тангенциальных скоростей носа и кормы судна сначала нужно было учесть дрейф судна и течение. Значение дрейфа показывается для точки положения центра тяжести судна, поэтому на определение тангенциальных скоростей дрейф влияния не оказывает. По результатам экспериментов были составлены таблицы данных, пример которой, для эксперимента 1 приведен в табл.1. При этом использовались следующие условные обозначения: V_n - тангенциальная скорость носа относительно грунта, узл.; V_k - тангенциальная скорость кормы относительно грунта, узл.; V_T -

скорость течения, узл.; $V_{тт}$ - тангенциальная составляющая скорости течения, узл.; $V_{но}$ - тангенциальная скорость носа относительно воды, узл.; $V_{ко}$ - тангенциальная скорость кормы относительно воды, узл.; V_c - скорость хода центра тяжести судна относительно грунта, узл.; q_T - курсовой угол течения; K_T^0 - направление течения.

Таблица 1. Параметры движения для эксперимента 1

Курс, с.	352,6	353,7	356,3	0,6	4,4	12,2	18,2	24,9	33,6	46,7
V_n , уз.	-1,01	-0,95	-0,79	-0,58	-0,42	-0,21	-0,03	0,11	0,26	0,41
V_k , уз.	-0,97	-1,1	-1,29	-1,53	-1,63	-1,76	-1,81	-1,82	-1,84	-1,84
V_c , уз.	0,35	0,35	0,35	0,34	0,32	0,27	0,2	0,13	0,05	-0,05
$V_{тт}$, уз.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
K_T^0	247	247	247	247	247	247	247	247	246	246

Для учета течения используем схему движения судна для эксперимента 11/7, данные о котором представлены на рис.3

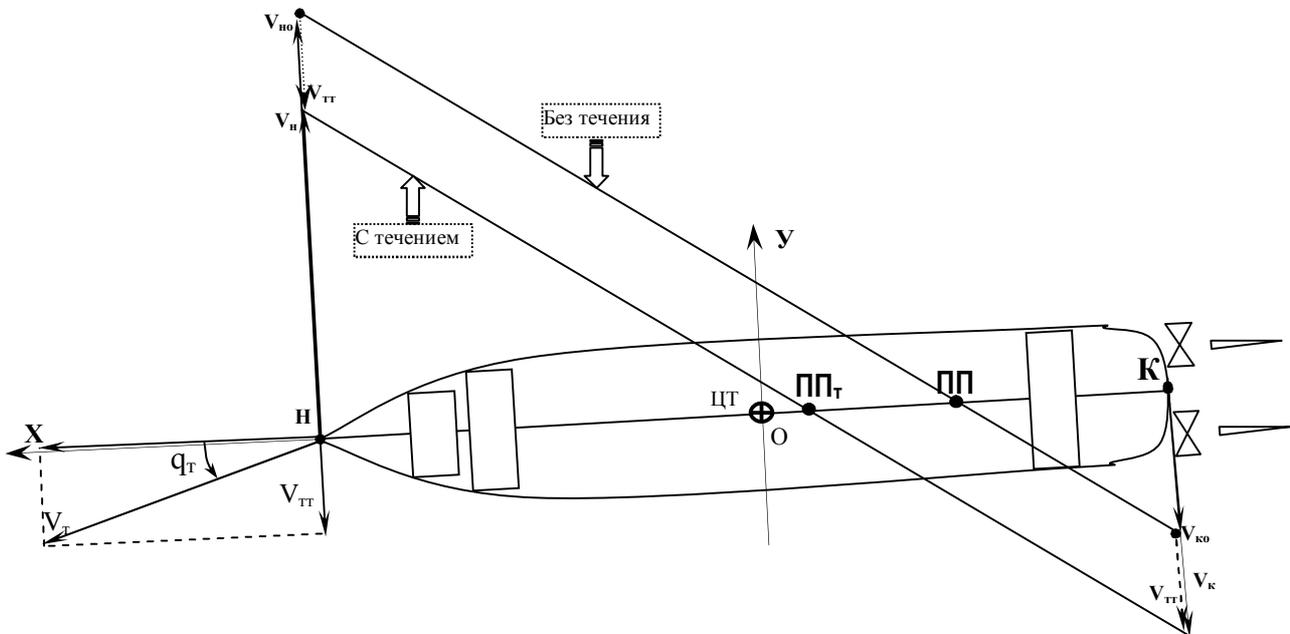


Рис.3 Схема нахождения положения полюса поворота при наличии течения. Вариант 1.

Судно имеет курс 267° , боковую скорость носа $V_n = 0,66$ узла, боковую скорость кормы $V_k = 0,48$ узла, течение направлением 243° скоростью $V_T = 0,5$ узла. (рис.3)

Из точек Н и К, расположенных на носовых и кормовых перпендикулярах соответственно, откладываем значения боковых скоростей носа и кормы. Считаем, что датчики Доплер - лага расположены на носовом и кормовом перпендикулярах. Соединив точки окончания векторов V_n и V_k отрезком прямой, в точке $ПП_T$ пересечения данного отрезка с ДП получим положение полюса поворота с учетом течения.

Также в точке Н откладываем вектор скорости течения, которую раскладываем на продольную $V_{тпр}$ и поперечную тангенциальную $V_{тт}$ составляющие. Продольная составляющая скорости течения $V_{тпр}$ нас в данном

случае не интересует, так как она не оказывает влияния на боковые скорости носа и кормы. По этой же причине мы можем не учитывать и продольную скорость судна, которая может оказывать влияние на определение продольной скорости течения, но никак не поперечной. Поперечная же составляющая скорости течения $V_{\text{ТТ}}$ нас интересует, поскольку оказывает влияние на боковые скорости носа и кормы относительно воды, а соответственно, и на положение ПП.

Для расчета тангенциальных скоростей относительно воды произведем определение курсового угла течения q_{T} по формуле:

$$q_{\text{T}} = \text{ИК} - K_{\text{T}}. \quad (1)$$

Тангенциальная составляющая течения будет равна:

$$V_{\text{ТТ}} = V_{\text{T}} \cdot \sin q_{\text{T}} \quad (2)$$

Производя геометрическое сложение векторов тангенциальных скоростей носа и кормы, с учетом их знаков и знака вектора течения получим:

$$\vec{V}_{\text{НО}} = \vec{V}_{\text{Н}} - \vec{V}_{\text{ТТ}} \quad (3)$$

$$\vec{V}_{\text{КО}} = \vec{V}_{\text{К}} - \vec{V}_{\text{ТТ}} \quad (4)$$

Соединяем полученные векторы $V_{\text{НО}}$ и $V_{\text{КО}}$ отрезком прямой. В точке пересечения этого отрезка с диаметральной плоскостью в точке ПП получим положение полюса поворота без учета течения.

Таким образом, после учета скорости течения остается 2 варианта: когда скорости носа и кормы направлены в разные стороны и когда они направлены в одну сторону. Данные случаи описаны в работе [6]. В работе [7] дана формула для расчета абсциссы полюса поворота по тангенциальным скоростям носа и кормы с учетом течения $X_{\text{ППТ}}$

$$X_{\text{ППТ}} = \frac{-V_{\text{Н}}}{V_{\text{К}} - V_{\text{Н}}} (X_{\text{В}} - X_{\text{А}}) + X_{\text{А}}, \quad (5)$$

где $X_{\text{ППТ}}$ - абсцисса полюса поворота с соответствующим знаком + в сторону носа и - в сторону кормы относительно центра тяжести; $V_{\text{Н}}$ - тангенциальная скорость точки диаметральной плоскости на носовом перпендикуляре(м/с); $V_{\text{К}}$ - тангенциальная скорость точки диаметральной плоскости на кормовом перпендикуляре(м/с); $X_{\text{В}} = -0,5 \cdot L_{\perp}$ - координата точки диаметральной плоскости на кормовом перпендикуляре(м); $X_{\text{А}} = 0,5 \cdot L_{\perp}$ - координата точки диаметральной плоскости на носовом перпендикуляре(м); L_{\perp} - длина судна между перпендикулярами(м).

Для расчета абсциссы полюса поворота по тангенциальным скоростям носа $V_{\text{НО}}$ и кормы $V_{\text{КО}}$ без учета течения $X_{\text{ППО}}$ относительно воды

$$X_{\text{ПП}} = \frac{-V_{\text{НО}}}{V_{\text{КО}} - V_{\text{НО}}} (X_{\text{В}} - X_{\text{А}}) + X_{\text{А}}. \quad (6)$$

Рассчитав абсциссу полюса поворота, мы можем рассчитать и абсциссу точки приложения равнодействующей боковых сил $\bar{X}_{\text{Р}}$ по формуле из работы [7]

При относительных координатах полюса поворота $\bar{X}_{\text{мп}} = (X_{\text{мп}} / L_{\perp\perp}) < 0,5$

$$\bar{X}_P = \frac{\frac{1}{6} \bar{x}_{\text{мп}}^4 - \frac{1}{4} \bar{x}_{\text{мп}}^2 - \frac{1}{32}}{\frac{2}{3} \bar{x}_{\text{мп}}^3 + \frac{1}{2} \bar{x}_{\text{мп}}} \quad (7)$$

При относительных координатах полюса поворота $\bar{X}_{\text{мп}} = (X_{\text{мп}} / L_{\perp\perp}) > 0,5$

$$\bar{X}_P = \frac{-\frac{1}{6} \bar{x}_{\text{мп}}}{\bar{x}_{\text{мп}}^2 + \frac{1}{12}} \quad (8)$$

Результаты выполненных расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Результаты расчета по данным эксперимента I

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{н}}, \text{уз}$	-1,01	-0,95	-0,79	-0,58	-0,42	-0,21	-0,03	0,11	0,26	0,41
$V_{\text{к}}, \text{уз}$	-0,97	-1,1	-1,29	-1,53	-1,63	-1,76	-1,81	-1,82	-1,84	-1,84
$V_{\text{но}}, \text{уз}$	-0,43	-0,37	-0,22	-0,03	0,11	0,28	0,42	0,51	0,59	0,62
$V_{\text{ко}}, \text{уз}$	-0,39	-0,52	-0,72	-0,95	-1,10	-1,27	-1,36	-1,42	-1,51	-1,63
$X_{\text{мп}}, \text{М}$	-1302	359	109	58,4	44,6	33,4	27,2	26,25	26,18	26,12
$X_{\text{мпт}}, \text{М}$	-539	156	49,4	27,3	21,5	16,8	13,9	12,4	11,5	11,8

Таблица 3. Результаты расчета по данным эксперимента II

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{н}}, \text{уз}$	0,38	0,41	0,44	0,49	0,56	0,63	0,66	0,73	0,85	0,97
$V_{\text{к}}, \text{уз}$	0,44	0,38	0,23	0,01	-0,19	-0,36	-0,48	-0,74	-1,02	-1,38
$V_{\text{но}}, \text{уз}$	0,54	0,58	0,62	0,66	0,74	0,83	0,88	0,96	1,12	1,28
$V_{\text{ко}}, \text{уз}$	0,60	0,55	0,41	0,18	0	-0,16	-0,27	-0,51	-0,75	-1,06
$X_{\text{мп}}, \text{М}$	359	-693	-83,9	-27,4	-13,0	-7,17	-4,15	0,18	2,39	4,59
$X_{\text{мпт}}, \text{М}$	377	-990	-129	-46,0	-26,3	-17,7	-14,0	-8,05	-5,20	-2,47
№№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$V_{\text{н}}, \text{уз}$	1,04	1,09	1,13	1,15	1,16	1,17				
$V_{\text{к}}, \text{уз}$	-1,56	-1,68	-1,84	-1,90	-2,01	-2,03				
$V_{\text{но}}, \text{уз}$	1,39	1,46	1,54	1,57	1,59	1,62				
$V_{\text{ко}}, \text{уз}$	-1,21	-1,31	-1,43	-1,48	-1,58	-1,58				
$X_{\text{мп}}, \text{М}$	5,26	5,60	6,29	6,47	7,05	7,07				
$X_{\text{мпт}}, \text{М}$	-1,82	-1,42	-0,97	-0,78	-0,08	-0,32				

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

1. При снабжении судна доплер - лагом, положение полюса поворота можно получать по тангенциальным скоростям носа и кормы относительно воды.

2. В отличие от определения положения полюса поворота по тангенциальным скоростям носа и кормы с помощью портативных GPS, используя доплер-лаг, можно также определять скорость и направление течения.
3. Учитывая данные о течении, положение полюса поворота можно определять с более высокой точностью, используя формулы (3 - 6).
4. Использование доплер-лага имеет ограничение по глубине.
5. Точность результатов эксперимента с использованием доплер-лага выше, чем при использовании портативных GPS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демин С.И. Управление судном/Демин С.И., Жуков Е.И. и др. – М.:Транспорт, 1991. -359 с.
2. 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.
3. Павельев А.Д. Определение положения полюса поворота и его учет при маневрировании судна. Диссертация кандидата технических наук. Режим доступа к источнику: <http://www.dissercat.com/content/opredelenie-polozeniya-polyusa-povorota-i-ego-uchet-pri-manevrirovanii-sudna-0>
4. Голиков В.В., Мальцев С.Э. Алгоритм определения положения полюса поворота морского судна. //Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. Випуск №1(8). Херсон: Видавництво ХДМА, 2013. С. 21-27.
5. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point/ The PILOT №295. October 2008. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association.
6. Товстокорый О.Н Экспериментальное определение положения полюса поворота по тангенциальным скоростям носа и кормы // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. Випуск №. Херсон: Видавництво ХДМА, 2014 . С. 57-63.
7. Патент №100293.Україна. UA 100293 U. МПК (2015.01) G08G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна. Товстокорый О.М., Мальцев С.Е., Бень А.П. Власник: Херсонська державна морська академія. – u 2014 12711. Дата подання заявки 26.11.2014. Публікація відомостей 27.07.2015, Бюл.№14