

УДК 656.614.3.073.44: 656.61.052.74-48.34

VLCC MANEUVERING CHARACTERISTICS SPECIFIC SUPPORT

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАНЁВРЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СУДОВ VLCC

A.A. Derevyanko, captain, assistant

A.A. Деревянко, к.д.п., ассистент

Odessa National Marine Academy, Ukraine

Одесская Национальная Морская Академия, Украина

ABSTRACT

The comparative calculation of maneuvering and stoppage characteristics has been carried out for tankers' displacement from 20 thousand to 350 thousand tons (VLCC).

The analysis of Mat Lab research shows that the VLCC has considerable increase of sea area for maneuvering and stoppage characteristics with maintenance of relative values for all vessels reviewed at the same level, as per requirements of IMO recommendations. For precise prediction of the movement trajectory it is required to provide VLCC with full maneuvering and stoppage characteristics.

Planned to prepare the captain's maneuvering booklet.

Keywords: VLCC; maneuvering characteristics; optimization; navigator's algorithm; maneuvering prediction; movement analytic calculations; graphical trajectory.

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами

Развитие судоходства привело к увеличению размеров и тоннажа судов. Это в свою очередь вызывает изменение их манёвренных характеристик. Увеличение длины, ширины, осадки, водоизмещения судна, а также их соотношения увеличивают выбег, диаметр циркуляции, время и дистанцию торможения. На одном и том же водном пространстве появилось большее количество единиц флота, требующее большие расстояния для маневрирования, что потребовало от судоводителей лучшего знания и учёта характеристик своего судна. Особенно это относится к танкерным судам очень больших размеров (VLCC).

Традиционные способы корректировки ошибок учёта инерции, такие как большой резерв для реверса силовой установкой, а также торможение или уменьшение диаметра циркуляции с помощью якоря или якорей, для VLCC являются неприемлемы. Из-за большого водоизмещения и используемой мощности силовой установки тормозной путь достаточно большой, а использование протаскивания якоря на скорости превышающей минимальную вызывает чрезмерные усилия в якорном устройстве и может привести к его

потери. Использование перекладки пера руля с борта на борт может оказаться единственным способом для торможения судна, но не всегда это окажется достаточно эффективным для предотвращения аварии.

Анализ аварийности судов типа VLCC при маневрировании показал, что основной причиной происшествий является ошибочная оценка инерционно-тормозных характеристик крупнотоннажных танкеров из-за существенных отличий по сравнению с судами меньшего водоизмещения и отсутствия данных об особенностях характеристик маневренности для судоводителей. Ухудшение управляемости и инерционно-тормозных характеристик при маневрировании на ограниченном водном пространстве исключают право на ошибку.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешённых ранее частей общей проблемы

В работе [1] детально рассмотрены вопросы постановки на якорь крупнотоннажных судов, но недостаточное внимание уделяется особенностям маневрирования крупнотоннажных танкеров.

В работе [2] рассмотрены общие принципы и способы управления судном, но особенности обеспечения маневренными характеристиками судов VLCC не рассматриваются.

В работе [3] даётся оценка маневренных характеристик судов внутреннего и смешанного "река-море" плавания и разработка метода выбора и расчёта движительно-рулевого комплекса, обеспечивающего судну заданные маневренные характеристики. Информация является полезной для судов малого водоизмещения. Танкера большого водоизмещения требуют особого подхода для обеспечения маневренными характеристиками.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью исследования является снижение аварийности морских операций VLCC за счёт высокоточного с использованием характеристик торможения и управляемости планирования траектории маневрирования.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

К основным маневренным характеристикам судна относятся:

- характеристики управляемости;
- элементы циркуляции;
- путь и время торможения судна.

Эти характеристики определяются по результатам натуральных маневренных испытаний судна после его постройки (сдаточных испытаний) и согласно резолюции А.601(15)ИМО [ИМО 1987] оформляются в виде таблицы маневренных характеристик (Wheelhouse Poster), вывешиваемой на ходовом мостике, для двух состояний загрузки: в грузу и балласте.

Таблица маневренных характеристик включает:

- ожидаемую траекторию циркуляции центра тяжести, а также траектории всех остальных точек судна относительно этого же центра;

- эти траектории должны быть в прямоугольной системе координат с начальной точкой перекладки руля;

- время и скорость при изменении курса на 90, 180 и 270 градусов от первоначального курса.

Для случаев срочной остановки необходима следующая информация:

- траектория отклонения при манёврах остановки с помощью полного заднего хода;

- диаграмма тормозных характеристик, включающая тормозной путь, скорость и время до остановки соответствующих скоростям Переднего Малого (ПМ), Переднего Среднего (ПС), Переднего Полного Манёвренного (ППМ) и Переднего Полного (ПП) хода;

- должен быть представлен манёвр Заднего Полного хода (ЗП) из состояния покоя относительно воды.

Вся информация предоставляется для судна в грузу.

При наличии следующей информации она также включается в таблицу манёвренных характеристик судна:

- элементы циркуляции в балласте на глубокой воде;

- элементы циркуляции в грузу на малой воде для соотношения Н/Т_{1,2} и 1,5 осадки под килем.

Образец таблицы манёвренных характеристик (wheelhouse poster) приведён на рис. 1.

Также согласно резолюции А.601(15)ИМО [ИМО 1987] другим способом предоставления манёвренных характеристик является лоцманская карточка. Она заполняется капитаном судна на момент поднятия на борт лоцмана с целью обеспечения всей необходимой информацией. Лоцманская карточка соответствует фактической загрузке, текущим манёвренным характеристикам, любым ограничениям накладываемые условиями плавания, а также другие необходимые данные.

Образец лоцманской карточки приведён на рис. 2.

В процессе эксплуатации судна при различных внешних условиях, состоянии корпуса и загрузки фактические характеристики будут отличаться от построечных. Для уточнения манёвренных характеристик является целесообразным периодически проводить ходовые испытания силами экипажа. Современные коммерческие методы управления судном не всегда предоставляют возможность получить свежие данные в результате испытаний силами экипажа. В таком случае остаются методы получения характеристик расчётным способом.

Наряду с данными натурных испытаний в формуляре манёвренных характеристик должны содержаться и рассчитанные значения элементов для различных вариантов нестандартной загрузки судна. Существующие аналитические методы расчёта элементов циркуляции при различных вариантах загрузки и углах перекладки руля имеют очень низкую точность и практически не используются. Поэтому расчётные методы в основном

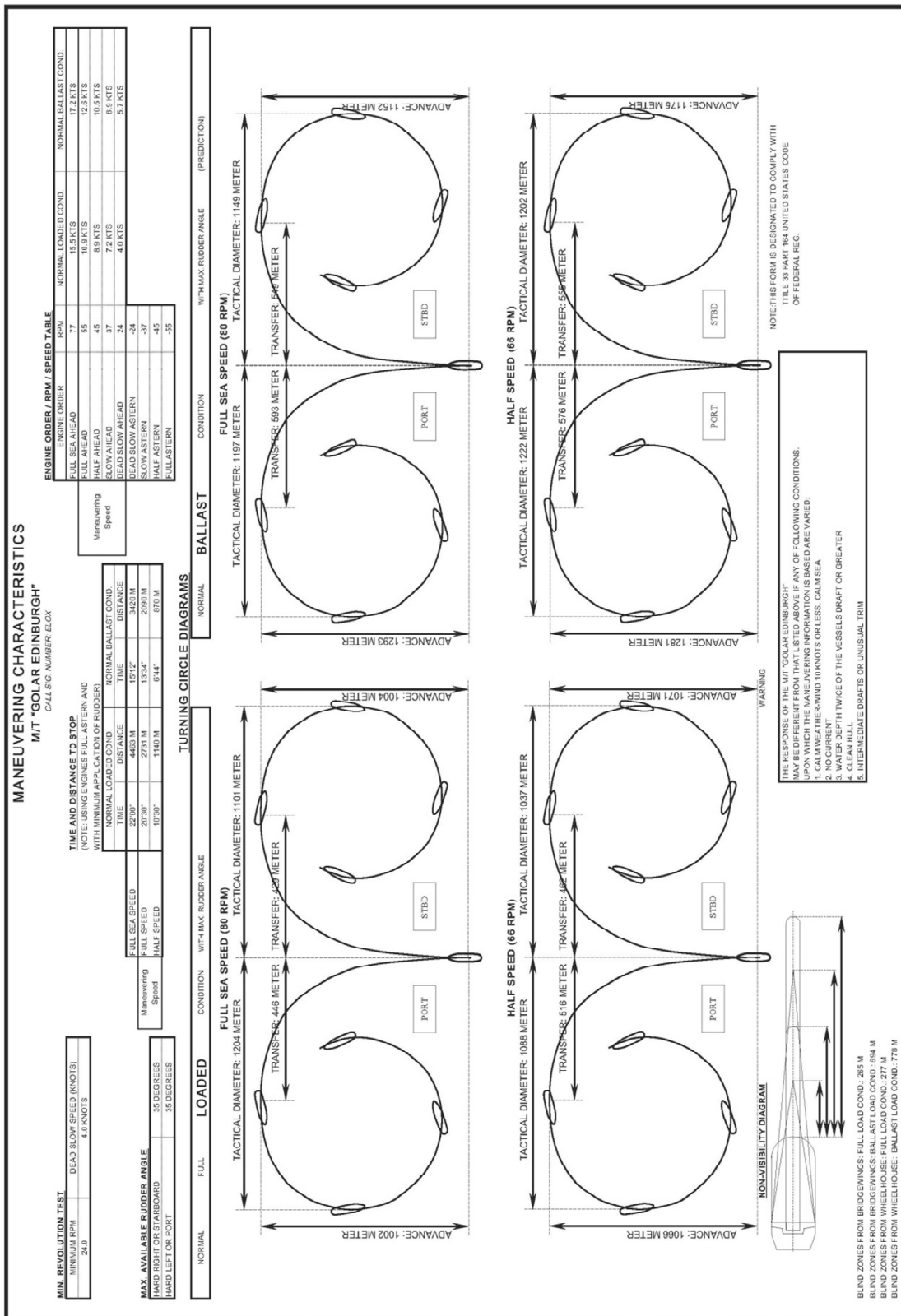


Рис. 1. Таблица манёвренных характеристик танкера "GolarEdinburgh"

Titan Ocean Pte Ltd

DEP

SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

PILOT CARD

Ship's name **MT EDINBURGH** Date **9-Aug-10**
 Call Sign **ELOX2** Deadweight **11,050** tonnes Year built **1993**
 Draught Aft **6.50** m/ ft in. Forward **5.00** m/ ft in. Displacement **110000** tonnes

Length overall **332** m, Anchor chain : Port **13** shackles, Starboard **13** shackles,
 Breadth **58** m Stern **--** shackles
 Bulbous bow (1 shackles = **27.5** m/ **15** fathoms)

Type of engine **SU;ZER 7RTTA84M** Maximum power **35490BHP** kw (**at 83RPM**)

Manoeuvring engine order	RPM	Speed (knots)
Full ahead	55	10.9
Half ahead	45	8.9
Slow ahead	37	7.2
Dead slow ahead	24	4.0
Dead slow astern	24	4.0
Slow astern	37	7.2
Half astern	45	8.9
Full astern	55	10.9

STEERING PARTICULARS

Type of rudder **Semi-Balanced** Maximum angle **35** , Hard - over to hard - over **28** sec
 Rudder angle for neutral effect _____
 Thruster : Bow kw (HP), Stern kw (HP)

CHECK IF ABOARD AND READY

Anchors <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Engine telegraphs <input type="checkbox"/>	Contrast gyro error <input type="checkbox"/> NIL
Whistle <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Steering gear <input type="checkbox"/>	VHF <input type="checkbox"/>
Radar 3cm <input checked="" type="checkbox"/> 10cm <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Number of power unit <input type="checkbox"/>	Elec. Pos. fix. System <input type="checkbox"/>
ARPA <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Operating <input type="checkbox"/>	type GPS/RADAR
Speed log <input checked="" type="checkbox"/> Doppler <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Indicators: Rudder <input type="checkbox"/>	OTHER INFORMATION:
Water speed <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RPM/Pitch <input type="checkbox"/>	Gross Tonnage : 156408
Ground speed <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rate of turn <input type="checkbox"/>	Net Tonnage: 110,050
Dual - axis <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Compass system <input type="checkbox"/>	

*(Gyro Error) = (Gyro Bearing) - (True Bearing)
 Example Gyro Bearing 242°, True Bearing 242° : **NIL**

Signed by Master: _____ Signed by Pilot: _____

Рис. 2. Лоцманская карточка

используются для получения характеристик активного и пассивного торможения. При этом в качестве главных характеристик рассматриваются время и тормозной путь.

Расчётные характеристики пассивного торможения получают следующим образом.

Дифференциальное уравнение пассивного торможения судна имеет вид:

$$m \frac{dV}{dt} = -R, \quad (1)$$

где m - масса судна плюс присоединённая масса воды;

D - массовое водоизмещение судна;

R - сопротивление воды движению судна.

Присоединённая масса воды приблизительно равна 10% от массы судна ($m = 1.1 * D$) и будет считаться неизменной при маневрировании. Более точно величину присоединённой массы воды можно определить по формуле:

$$\Delta m = 1.18 * \rho * B * T^2, \quad (2)$$

где B - ширина судна,

T - средняя осадка,

ρ - массовая плотность воды.

Сопротивление воды будем принимать пропорциональным квадрату скорости:

$$R = KV^2 \quad (3)$$

Коэффициент пропорциональности K определяется для значений сопротивления на полном ходу R_0 и скорости полного хода V_0 :

$$K = \frac{R_0}{V_0^2} \quad (4)$$

Подставляя значения R и A в дифференциальное уравнение:

$$m \frac{dV}{dt} = -KV^2 \quad (5)$$

После разделения переменных получается выражение для времени пассивного торможения от начальной скорости V_H до текущей V :

$$t = -\frac{m}{K} \int_{V_H}^V \frac{dV}{V^2} = \frac{m}{K} \left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_H} \right) \quad (6)$$

Поскольку $dS = Vdt$, то значение dV/dt представляется в виде:

$$\frac{dV}{dt} = V \frac{dV}{dS} \quad (7)$$

Далее оно подставляется в уравнение (5):

$$mV \frac{dV}{dS} = -KV^2 \quad (8)$$

После разделения переменных получается выражение для пройденного расстояния при пассивном торможении от начальной скорости V_H до текущей V :

$$S = -\frac{m}{K} \int_{V_H}^V \frac{dV}{V} = -\frac{m}{K} (\ln V - \ln V_H) = \frac{m}{K} \ln \frac{V_H}{V} \quad (9)$$

При интегрировании формул (6) и (9) используются табличные неопределённые интегралы:

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \quad (10)$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x \quad (11)$$

Расчёт характеристик активного торможения произведён путём решения дифференциального уравнения движения судна:

$$m \frac{dV}{dt} = -R - P_e, \quad (12)$$

где P_e - сила тяги винта на заднем ходу принимается равной значению силы упора винта в режиме на швартовых заднего хода;

Подставляются значения P_e , R , K в дифференциальное уравнение:

$$m \frac{dV}{dt} = -KV^2 - P_{3x} \quad (13)$$

После разделения переменных получаем выражение для времени активного торможения от начальной скорости V_H до текущей V :

$$t = -m \int_{V_H}^V \frac{dV}{KV^2 + P_{3x}} \quad (14)$$

Для приведения подынтегрального выражения к табличному неопределённому интегралу:

$$\int \frac{dx}{x^2 + a^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{x}{a} \quad (15)$$

числитель и знаменатель умножаются на K . Тогда получим:

$$t = -\frac{m}{K} \int_{V_H}^V \frac{dV}{V^2 + \frac{P_{3x}}{K}} = -\frac{m}{K} \frac{1}{\sqrt{\frac{P_{3x}}{K}}} \left(\operatorname{arctg} \frac{V}{\sqrt{\frac{P_{3x}}{K}}} - \operatorname{arctg} \frac{V_H}{\sqrt{\frac{P_{3x}}{K}}} \right) \quad (16)$$

После преобразования окончательно получается:

$$t = \frac{m}{\sqrt{KP_{3x}}} \left(\operatorname{arctg} V_H \sqrt{\frac{K}{P_{3x}}} - \operatorname{arctg} V \sqrt{\frac{K}{P_{3x}}} \right) \quad (17)$$

Поскольку $dt = dS/V$, то значение dV/dt представляется в виде:

$$\frac{dV}{dt} = V \frac{dV}{dS} \quad (18)$$

После разделения переменных получается выражение для пройденного расстояния:

$$mV \frac{dV}{dS} = -KV^2 - P_{3x} \quad (19)$$

При активном торможении от начальной скорости V_H до текущей V :

$$S = -m \int_{V_H}^V \frac{V dV}{KV^2 + P_{3x}} \quad (20)$$

Для приведения подынтегрального выражения к табличному неопределённому интегралу:

$$\int \frac{x dx}{x^2 + a^2} = \frac{1}{2} \ln(x^2 + a^2) \quad (21)$$

числитель и знаменатель умножаются на величину K . Тогда получается:

$$S = -\frac{m}{K} \int_{V_H}^V \frac{V dV}{V^2 + \frac{P_{3x}}{K}} = -\frac{m}{2K} \left[\ln \left(V^2 + \frac{P_{3x}}{K} \right) - \ln \left(V_H^2 + \frac{P_{3x}}{K} \right) \right] \quad (22)$$

После преобразований окончательно получается:

$$S = \frac{m}{2K} \ln \frac{1 + KV_H^2}{1 + KV^2} \quad (23)$$

Учёт манёвренных характеристик при решении задач управления судном является обязательным условием обеспечения безопасного плавания судна. Манёвренные характеристики судна необходимо учитывать при решении практически всех задач управления судном, в частности:

- при расчётах манёвра для предупреждения столкновений при расхождении судов;
- при проведении швартовых операций;
- при плавании и маневрировании в узкостях и на ограниченных акваториях;
- при постановке судна на якорь и швартовые бочки.

По приведённым зависимостям были рассчитаны с использованием Matlab характеристики торможения и поворотливости, а результаты приведены в табл. 1.

В таблице 1 даны дедвейт, основные размеры и мощность двигателя судна, а также диаметр циркуляции и дистанция до остановки в длинах корпуса. Под дистанцией остановки подразумевается нормальная остановка дачей полного хода назад. Аварийная остановка может сократить дистанцию остановки на 25 %.

Таблица 1 Размеры судна, диаметры циркуляции, дистанции остановки

Дедвейт	Длина между перпендикулярами		Ширина		Мощность двигателя	Скорость	Диаметр циркуляции	Дистанция до остановки
	тонны	футы	метры	футы				
20,000	540	164.59	75	22.86	12,000	16.0	3.6L	8L
36,000	620	188.98	90	27.43	14,000	16.0	3.6L	9L
50,000	700	213.36	100	30.48	16,000	16.0	3.6L	10L
70,000	760	231.65	115	35.05	19,000	16.0	3.5L	11L
100,000	810	246.89	130	39.62	22,000	16.0	3.4L	12L
140,000	880	268.22	140	42.67	26,000	16.0	3.4L	13L
190,000	980	298.70	155	47.24	30,000	16.0	3.4L	14L
250,000	1,080	329.18	170	51.82	35,000	16.0	3.4L	15L
300,000	1,049	319.74	190	57.91	42,000	16.0	3.4L	15L
350,000	1,148	349.91	192	58.52	50,000	16.0	3.4L	15L

Проанализировав таблицу, приходим к следующему выводу:

- диаметр циркуляции танкеров малого и судов большого водоизмещения (VLCC) в длинах корпуса не увеличился, и даже незначительно уменьшился, но значительно возросла его абсолютная величина в метрах;

- дистанция до полной остановки значительно возросла как в длинах корпуса, так и по абсолютной величине в метрах;

- если для танкеров малого водоизмещения на единицу лошадиной силы силовой установки приходится от 1.7 до 3.7 тонны дедвейта, то для танкеров VLCC на единицу лошадиной силы силовой установки приходится от 6.3 до 7.0 и выше тонн дедвейта.

Сравнивая танкеры дедвейтом 250 и 25 тыс. т, заметим, что мощность судовой энергетической установки (СЭУ) большего судна не будет десятикратно превышать мощность СЭУ меньшего судна. Фактически она может превышать последнюю менее чем в 3 раза, и все же такая относительно малая мощность может дать танкеру дедвейтом 150—300 тыс. т Very Large Crude Carrier (VLCC) ту же скорость в море, которую имеет танкер меньшего

дедвейта.

При нормальном состоянии моря VLCC управляются почти так же, как, и танкеры дедвейтом 25 тыс. т. Удержание на курсе не представляет особенных сложностей в море, и только тогда, когда необходимо погасить скорость, мы обнаруживаем, что для этого нужно большее пространство.

Для остановки танкера дедвейтом 250 000 тон в грузу может потребоваться дистанция более 3 миль и свыше 20 мин времени.

Эти обстоятельства всегда играют решающую роль в вопросах маневрирования VLCC.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Получен, основанный на аналитических вычислениях, алгоритм расчёта уточнённых манёвренных характеристик крупнотоннажного танкера VLCC при решении судоводителями задачи планирования маневрирования и дающий возможность построения графической траектории движения от заданной точки начала маневрирования и торможения до момента окончания, исходя из конкретной навигационной обстановки. Таким образом, данный алгоритм значительно повышает безопасность, что особенно актуально для крупнотоннажных судов.

Выполненный сравнительный анализ манёвренных характеристик показал существенное увеличение акватории для маневрирования VLCC при сохранении их величин в относительных единицах. По этой причине требуется обеспечение судов типа VLCC более подробными сведениями о данных поворотливости и торможения, и составление буклета маневренных характеристик для капитана с включением данных необходимых для планирования манёвра.

ЛИТЕРАТУРА

1. McDowall C.A. Anchoring large vessels / Captain C.A. McDowall MSc C.Eng MI Mecn. EMRINAFNI // The Nautical Institute – London, 2000. –23 с.
2. Генри Х. Хойер Управление крупнотоннажными судами при маневрировании / Генри Х. Хойер. – М.: Транспорт, 1992. –101 с.
3. Крюков П. Н. Оценка манёвренных характеристик судов внутреннего и смешанного "река-море" плавания и разработка метода выбора и расчёта движительно-рулевого комплекса, обеспечивающего судну заданные манёвренные характеристики: дис. на соискание ученой степени кандидат тех. наук / П. Н. Крюков. - Санкт-Петербург, 2001. –133 с.
4. Юрканский А. В. Исследование управляемости судов в условиях ветра и волнения: дис. на соискание учёной степени кандидата тех. наук / А. В. Юрканский. - Санкт-Петербург, 2005. –118 с.
5. Мальцев А.С. Аналитический метод построения траектории маневрирования инверсным способом / А. С. Мальцев, Н. В. Ивановский // ОНМА. Судовождение. – Одесса, 2009. – Вып. 16. – С.77-82

6. David J. House Ship Handling Theory and Practice / David J. House // Copyright © 2007 David House - Oxford OX28DP, UK - Burlington MA 01803, USA - First Edition 2007. - 290 с.
7. Captain R.W. Rowe, FNI The Ship handler's Guide / Captain R.W. Rowe, FNI // The Nautical Institute In conjunction with Maritime Centre Warsash – 147 с.
8. Павленко Л. В. Якорные операции крупнотоннажных судов / Л. В. Павленко // ОНМУ. Вестник ОНМУ. – Одесса, 2002. - Вып. 10. - С. 59-71.
9. Japan Captain's Association (JCA) A guide to ship handling / Japan Captain's Association (JCA) // Токио – 187 с.
10. Управление судном: учебник/ Демин С. И. [и др.]. - М.: Транспорт, 1991. – 359 с.