

УДК656.61.052

**INTEGRATION OF VESSEL MANEUVERING PREDICTION
MODEL INTO THE ECDIS****ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРЕДИКТИВНОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ
СУДНА В ЭКНИС****M. Trishyn**¹, *chief officer, senior lecturer,***V. Sikirin**², *senior lecturer***Н.В. Тришин**¹, *и.д.н., старший преподаватель,***В. Е. Сикирин**², *старший преподаватель*¹*Sevastopol National Technical University, Ukraine*¹*Севастопольский Национальный Технический Университет, Украина*²*Odessa National Maritime Academy, Ukraine*²*Одесская Национальная Морская Академия, Украина***ABSTRACT**

The idea of real-time maneuvering trajectory prediction integrated into the electronic chart system is suggested in the paper.

Predictions are based on non-linear ship dynamics mathematical model. Trajectories obtained from mentioned model were compared with full-scale trial data. To reach higher accuracy of predicted data, model coefficients were corrected to obtain maximum fit with trial data.

Software realization of mentioned module deemed perspective, as it allows to improve navigator's information support in constrained or congested waters.

Keywords: ship handling, ECDIS, ship maneuvering mathematical model.

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

Использование ЭКНИС на судах, существенно сокращает нагрузку на вахтенного помощника и позволяет уделять максимум времени наблюдению за окружающей обстановкой и выработке обоснованных решений по управлению судном. Система позволяет непрерывно контролировать фактическое местоположение судна, тогда как прогнозирование местоположения с учетом маневренных характеристик остается нераскрытым.

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

В настоящее время существует множество фирм-производителей ЭКНИС. Эксплуатационные требования к ЭКНИС определены резолюцией ИМО А.817(19) [3], согласно которой главной функцией ЭКНИС является помощь в обеспечении навигационной безопасности плавания посредством отображения всей необходимой картографической информации, обеспечения

выполнения всех действий, необходимых для производства предварительной и исполнительной прокладок, уменьшая объем работы судоводителя по сравнению с использованием традиционных карт и непрерывно отображая место судна на экране ЭКНИС. ЭКНИС отображает текущее место судна и вектор его скорости по отношению к грунту, дающий представление о последующем перемещении судна, предоставляя, таким образом, судоводителю возможность корректировать курс для удержания судна в пределах безопасной зоны. Такой способ приемлем для судовождения при осуществлении плавания по запланированному прямому отрезку линии пути, но в стесненных условиях, когда габариты фарватера соизмеримы с габаритами судна, а учитывая его инерционность, необходимо заблаговременно определять точки начала и окончания маневра и своевременно задавать соответствующие управляющие воздействия, риск навигационной аварии значительно увеличивается.

Существующие ЭКНИС отображают место и время подачи команды на руль для изменения курса и подают предупреждающий сигнал при подходе к поворотной точке [1, 2]. При этом точка перекладки руля рассчитывается исходя из заданного при предварительной прокладке радиуса поворота по данным о маневренных характеристиках судна, которые могут вводиться в память ЭКНИС форме, предусмотренной ИМО. Так как некоторые ЭКНИС могут работать в режиме управления движением судна по маршруту, с возможностью подключения к ним авторулевого [5], то они обеспечивают выполнение функций управления движением судна на повороте с заданными значениями радиуса или угловой скорости поворота, рассчитанной по текущей скорости и заданному радиусу. Эта информация может при необходимости представляться судоводителю, а также использоваться при решении задач маневрирования при подключении программ имитации маневров для включения в маршрут участков изменения режима хода и поворотов с одного отрезка маршрута на другой.

Недостатками данного подхода является то, что ЭКНИС используется как электронная справочная система, возможности которой ограничиваются полнотой статистической информации справочной базы данных. Конечно, в отличие от бумажного, электронный справочник позволяет представлять судоводителю не только хранимые сведения, но и результаты их математической и логической обработки, например, путем интерполяции или более сложных операций, значительно ускоряя процесс получения необходимой информации. Но он не охватывает всю полноту возможных маневров судна с учетом различных условий: течения, ветра, волнения, загрузки судна и его посадки, глубины под килем и т.д.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Задачей данной работы является разработка методики интегрирования математической модели движения судна в электронную картографическую систему с целью обеспечения судоводителей информацией и рекомендациями по маневрированию в стесненных водах.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Реализация данной задачи возможна путем внедрения в ЭКНИС модуля, обеспечивающего прогнозирование криволинейной траектории движения судна по составленной математической модели. При этом должен обеспечиваться учет изменения параметров посадки и движения судна, характеристики которых поступают из различных датчиков и систем, и корректировка рассчитанной траектории с учетом воздействия внешних факторов в реальном времени.

Также необходимо обеспечить индикацию (как визуальную, так и звуковую) для оповещения пользователя о моменте готовности к выполнению маневра, моменте начала и окончания маневра и о прочих действиях.

1. Математическая модель движения судна

Первым этапом решения поставленной задачи является определение адекватной математической модели движения судна.

В трудах отечественных исследователей приведено подробное описание различных полуэмпирических математических моделей для различных типов судов, построенных как результат глубокой систематизации экспериментальных данных по целому ряду судов [6, 7, 9, 10, 11, 13]. В данной работе использовалась модель, приведенная в справочнике [13], которая может быть представлена системой уравнений:

$$\begin{aligned} m(1+k_{11})\frac{dV_X}{dt} - m(1+k_{22})V_Y\omega + R_X + P_{PX} - P_{ex} &= 0; \\ m(1+k_{22})\frac{dV_Y}{dt} + m(1+k_{11})V_X\omega - R_Y + P_{PY} &= 0; \\ -I_{ZZ}(1+k_{66})\frac{d\omega}{dt} + M_R + M_P + M_e &= 0; \end{aligned}$$

где m – масса судна; k_{11} , k_{22} , k_{66} – коэффициенты присоединенных масс; V – линейная скорость судна; β – угол дрейфа; ω – угловая скорость судна; I_{zz} – момент инерции судна относительно вертикальной оси; R_X – продольная гидродинамическая сила на корпусе; R_Y – поперечная гидродинамическая сила на корпусе; P_{ex} – полезная сила упора гребного винта; P_{PX} – продольная сила давления воды на руль; P_{PY} – поперечная сила на руле; M_R – момент гидродинамической силы на корпусе; M_P – момент поперечной силы руля; M_e – момент от силы винта.

По приведенным выше уравнениям среде Mat lab7 с использованием Simulink была построена математическая модель судна типа рифер $L = 126,6$ м, $B = 18,0$ м, схема которой представлена на рисунке 1. При этом все коэффициенты рассчитывались по формулам в соответствии с рекомендациями, приведенными в справочнике [13].

Для данного судна проводились циркуляции с углом перекладки руля 20 и 30 градусов. После этого проведена обработка эксперимента: исключено влияние течения, рассчитаны скорости движения ЦТ судна с учетом установки

антенны GPS, получены графики зависимости параметров движения от времени.

После моделирования движения судна на циркуляции, были построены расчетные графики (без корректуры на течение и с поправкой) и проведен анализ с экспериментальными данными. Результат сравнения при переключке руля 20° ПБ представлен на рисунке 2.

Коэффициенты математической модели, полученные по формулам справочника [13], были откорректированы таким образом, чтобы траектории модели и эксперимента были максимально схожими. Уточнение коэффициентов проводилось по методике, описанной в [4].

2. Алгоритм визуализации траектории движения

Следующим этапом решения поставленной задачи является визуализация прогнозируемой криволинейной траектории движения судна на экране ЭКНИС и рекомендаций по выбору необходимых параметров для реального выполнения маневра.

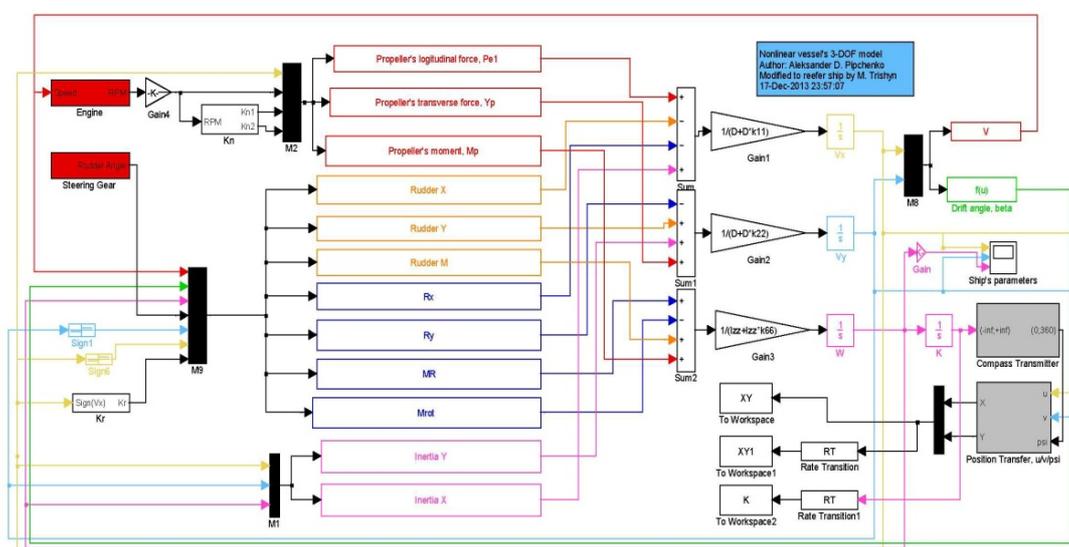


Рис. 1. Схема математической модели т/х «Палана»

Предложим три варианта исполнения данной задачи:

- 1) Нефиксированная точка начала маневра. Для рассчитанных циркуляций на экране ЭКНИС отображаются точки начала поворота при различных углах переключки руля и предполагаемая траектория движения судна. Судоводитель, исходя из ситуации заблаговременно, может выбрать точку начала поворота и соответствующий этой точке угол переключки руля (рис. 3).
- 2) Фиксированная точка начала маневра. Выбирается точка на линии пути, предшествующая поворотной. Из этой точки строятся траектории циркуляции при различных углах переключки руля. Пользователь, анализируя изображение, должен выбрать угол переключки руля, соответствующий наиболее подходящей линии пути судна (рис. 4).
- 3) Фиксированная точка окончания маневра. Маневр в заданную точку. Реализация данного метода, предложенного А. С. Мальцевым [8]

осуществляется путем решения дифференциальных уравнений движения судна в обратном порядке из точки окончания маневра с отрицательным приращением времени (рис. 5).

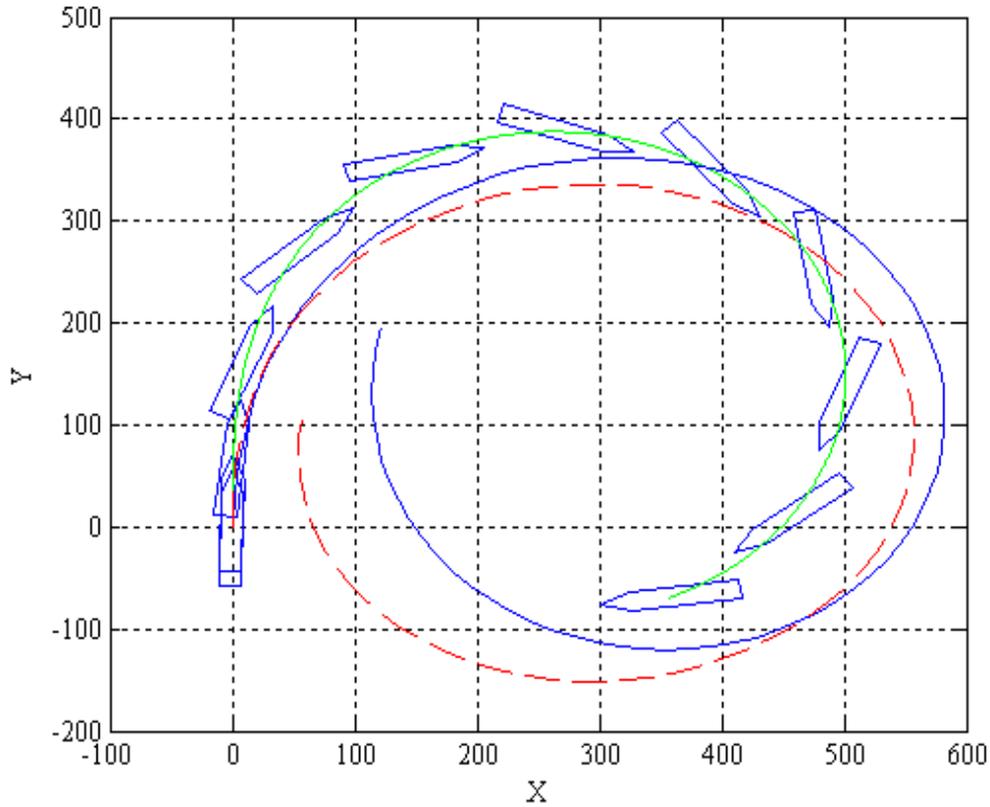


Рис. 2. Правая циркуляция т/х «Палана»

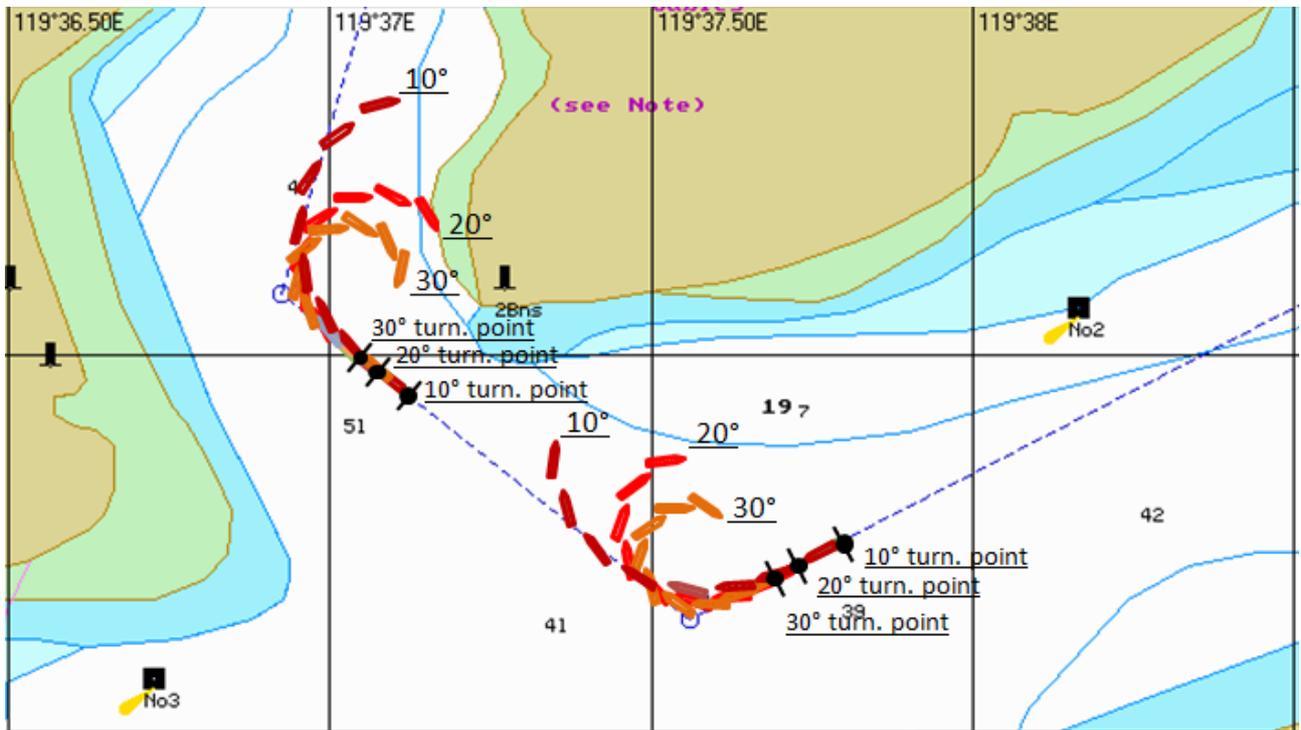


Рис. 3. Прогнозирование маневра с опцией выбора точки начала поворота

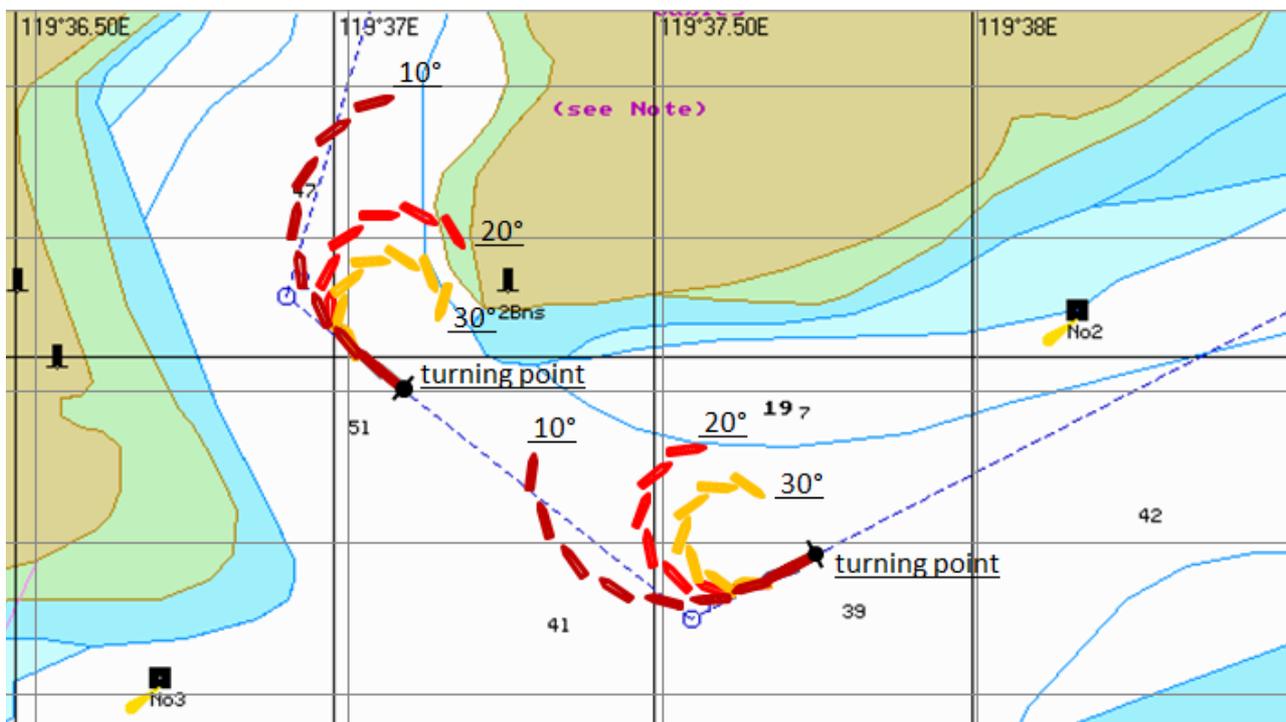


Рис. 4. Прогнозирование маневра с фиксированной точкой начала поворота

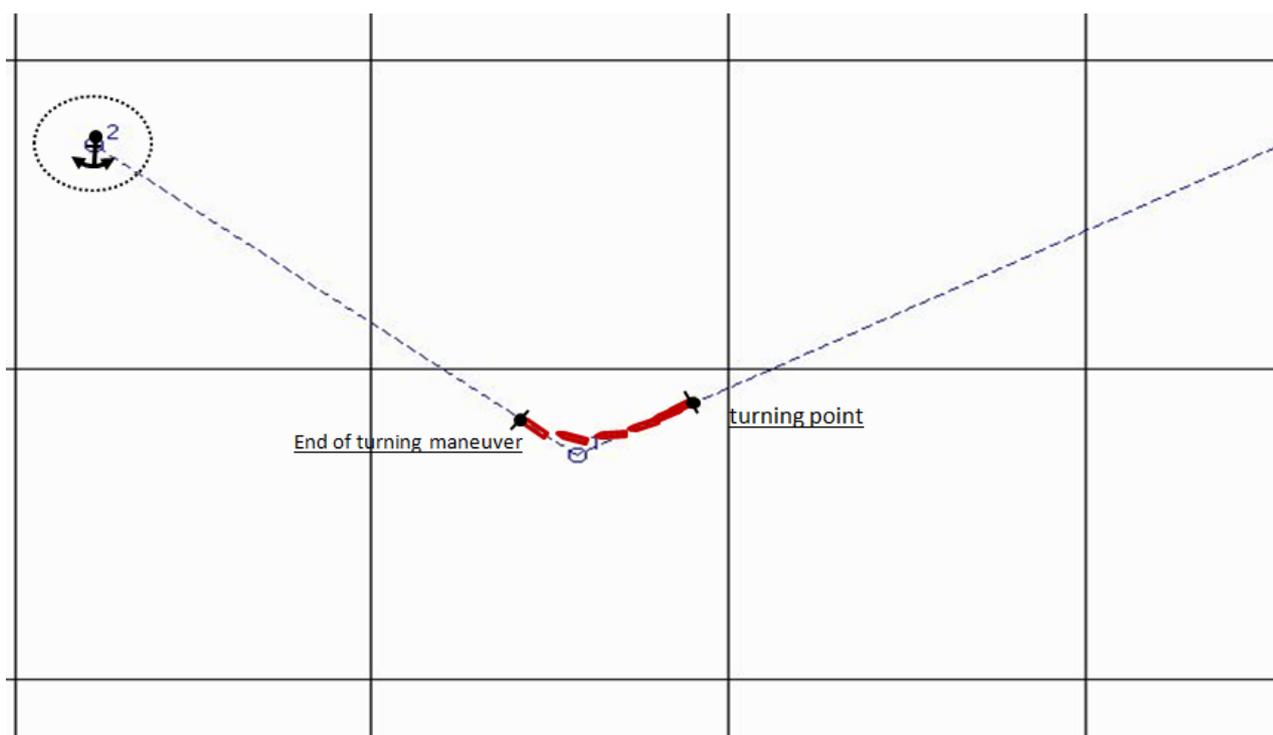


Рис. 5. Прогнозирование маневра поворота в заданную точку

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

В статье предложена идея и некоторые принципы внедрения в электронную картографическую систему модуля прогнозирования маневра судна по математической модели с предварительной прокладкой траектории в масштабе времени. Программная реализация данного модуля является перспективной, так как дает возможность улучшить информационную поддержку судоводителя в сложных в навигационном отношении условиях и таким образом позволяет снизить риск навигационной аварии.

ЛИТЕРАТУРА

1. FURUNO Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) FEA-2107/FEA-2107-BB/FEA-2807 Operator's Manual, – Japan, 2005. – 602 pp.
2. Navi-Sailor 3000 ECDIS-I User Manual, Version 4.00.07, – Transas Ltd., 2006. – 298 pp.
3. Resolution IMO A.817(19) adopted on 23 November 1995. Performance standards for electronic chart display and information systems (ECDIS), 15 pp.
4. А.Д. Пипченко. Уточнение математической модели движения судна / А.Д. Пипченко //Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 10. – Одесса: Феникс, 2005. – С.
5. Вагущенко Л.Л. Электронные системы отображения навигационных карт / Вагущенко Л.Л, Данцевич В.А., Кошевой А.А. – 2-е изд., – Одесса, ОГМА, 2000. – 120 с.
6. Васильев А.В. Управляемость судов /Васильев А.В. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
7. Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. / А.Д. Гофман – Л.: Судостроение, 1988. – 360с.
8. Мальцев А.С. Инверсный метод планирования траектории движения объектов управления/А.С. Мальцев// ОНМА. Судовождение: сб. науч. тр.- Одесса, 2007. – Вып. 13. – С. 124-130.
9. Мاستушкин Ю.М. Управляемость промысловых судов / Мاستушкин Ю.М. – Л.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 232 с.
10. Першиц Р.Я. Управляемость и управление судном. / Р.Я. Першиц – Л.: Судостроение, 1983. – 272 с.
11. Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. / Г.В. Соболев – Л.: Судостроение, 1976. – 477 с.
12. Солодов В.С. Применение методов планирования активного эксперимента для идентификации судового комплекса /Солодов В.С., Юдин Ю.И. // Вестник МГТУ: Труды Мурманского Государственного Технического Университета. 2006, т.9, № 2, с.187 – 190.
13. Справочник по теории корабля: В 3 томах. / Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985, т.3 – 544 с.