

**А. С. Мальцев, А. П. Бенъ**



# **СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА**

**Монография**



Херсонская государственная морская академия  
Национальный университет «Одесская морская академия»

А. С. Мальцев, А. П. Бень

**СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПО УПРАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА**

Монография

Херсон  
ХГМА  
2019

Рецензенты:

*В.С. Блищов* – д. т. н., профессор, проректор по научной работе  
Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова;

*А. В. Букетов* – д. т. н., профессор, заведующий  
кафедрой транспортных технологий

Херсонской государственной морской академии;

*Л. Л. Вагущенко* – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой  
электронных навигационных комплексов

Национального университета «Одесская морская академия»

*Рекомендовано к печати на заседании ученого совета  
Херсонской государственной морской академии  
(протокол № 4 от 4 декабря 2019 года)*

**Мальцев А. С.**

М 21

Системы принятия решений по управлению движением судна :  
монография / А. С. Мальцев, А. П. Бень. – Херсон : ХГМА, 2019. –  
244 с., ил., табл.

ISBN 978-966-2245-57-8

В монографии рассматриваются научные и практические проблемы создания систем поддержки принятия решений в судовождении. Приведены математические модели управления движением судов при расхождении и маневрировании. Рассмотрены принципы построения систем поддержки принятия решений по управлению движением судов и критерии оценки уровня опасности навигационных ситуаций. Представлены практические рекомендации по предотвращению столкновений судов при маневрировании в узостях и при наличии навигационных опасностей.

Для докторантов, аспирантов, магистров, научных работников, преподавателей и студентов высших учебных заведений, изучающих и исследующих проблемы безопасности мореплавания.

**УДК 656.61.052.4**

ISBN 978-966-2245-57-8

© Мальцев А. С.,  
Бень А. П., 2019  
© ХГМА, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Система расчета маневренных характеристик судна.....	13
1.1. Классификация маневренных характеристик.....	15
1.2. Исходные данные для расчета характеристик.....	28
1.3. Блок-схема расчета характеристик торможения.....	32
1.4. Блок-схема расчета характеристик поворотливости.....	40
1.5. Выбор формы представления данных.....	45
1.6. Информация капитану о маневренных свойствах судна.....	53
2. Система высокоточного планирования заданного пути перехода судна траекторными точками.....	56
2.1 Теоретическое обоснование проблемы планирования пути.....	56
2.2 Система поддержки принятия решения «Планирование пути».....	59
3. Система выбора количества буксиров для безопасного маневрирования в экстремальных условиях.....	69
3.1. Обоснование методики выбора буксирного обеспечения при выполнении морских операций.....	69
3.2 Алгоритм расчета мощности буксиров.....	73
3.3 Выбор безопасной скорости при морских операциях.....	76
4. Система оценки положения полюса поворота и его визуализация.....	82
4.1 Определение положения полюса поворота и его учет при управлении судном.....	82
4.2 Устройство определения положения полюса поворота при использовании буксиров.....	85
4.3 Система оценки полюса поворота по тангенциальным скоростям конечностей.....	91
5. Система пересчета координат спутниковой антенны на центр тяжести судна.....	96
6. Система высокоточного контроля отклонения центра тяжести судна от линии заданного пути.....	102
7. Система оценки опасности столкновения судов по курсовому углу линии относительного движения.....	109
8. Система выбора вида маневра для расхождения по характеру изменения линии относительного движения при	

	маневрировании.....	121
8.1	Ситуационный анализ процесса расхождения судов.....	121
8.2	Характер изменения относительного движения при маневрировании.....	128
9.	Система оценки чрезмерного, опасного или аварийного сближения и выбора маневра для его предупреждения.....	146
9.1.	Ситуационный анализ и расчетные схемы организации системы поддержки принятия решения о выборе вида маневра последнего момента.....	146
9.2.	Система поддержки принятия решения по выбору маневра последнего момента.....	165
10.	Система оценки ширины маневренного смещения.....	174
11.	Принципы построения и функционирования систем поддержки принятия решений судоводителя.....	188
11.1	Структура и особенности функционирования СППР судоводителя.....	188
11.2	Применение МППСС-72 в СППР судоводителя.....	191
11.3	Оценка навигационной ситуации в СППР судоводителя.....	196
11.4	Критерии оценки опасности судов.....	200
11.5	База данных СППР судоводителя.....	203
12.	Человеческий фактор как основная причина аварийности в современном судоходстве и пути снижения его влияния в системах поддержки принятия решений судоводителя.....	208
12.1	Влияние человеческого фактора на процессы управления судном.....	208
12.2	Количественная оценка влияния человеческого фактора в полиергатичный системе «судоводитель – СППР судоводителя – технические средства управления судном»...	212
12.3	Пути снижения влияния человеческого фактора на процессы принятия решений в судовождении.....	217
	Список литературы.....	222

## ВВЕДЕНИЕ

Существующие навигационные устройства на морских судах обладают качествами выдавать информацию, которая требует дополнительной обработки для принятия решения. Необходимость использования мыслительных способностей оператора приводит к задержке принятия решения, запоздалое выполнение которого осложняет процесс управления маневрированием, включая предаварийное состояние.

Это вызывает необходимость подготовки информации для отдачи команд в виде знания, которое не требует дополнительной обработки и готово для принятия решения. Основой для формирования таких данных необходимо введение в структуру навигационных устройств и систем блоков расчета маневренных характеристик, которые позволяют определять параметры торможения и управляемости, без знания которых обеспечить безопасное маневрирование не представляется возможным.

С учетом современного состояния судоводительской науки можно предложить следующие системы, которые формируют информацию в виде, готовом для принятия решения.

1. Система расчета маневренных характеристик для текущего состояния судна и его режима движения.
2. Система высокоточного планирования заданного пути перехода судна траекторными точками.
3. Система выбора количества буксиров для безопасного маневрирования в экстремальных условиях.
4. Система оценки положения полюса поворота и его визуализации.
5. Система пересчета координат спутниковой антенны на центр тяжести судна.
6. Система высокоточного контроля отклонения центра тяжести судна, от линии заданного пути.
7. Система оценки опасности столкновения судов по курсовому углу

линии относительного движения.

8. Система выбора вида маневра для расхождения по характеру изменения линии относительного движения при маневрировании.

9. Система оценки чрезмерного, опасного или аварийного сближения и выбора маневра для его предупреждения.

10. Система оценки ширины маневренного смещения.

Среди указанных систем определяющее место занимает вопрос определения маневренных свойств, поскольку другие системы, для организации их работы, требуют наличия параметров торможения и поворотливости.

Вопрос определения маневренных качеств морских судов стал привлекать внимание международной морской общественности в 60–70-х годах прошлого столетия, когда размеры судов стали значительно увеличиваться и выполнить рекомендации по оснащению их соответствующими движительными установками не представлялось возможным. Несмотря на то, что маневренности судов в то время уделялось определенное внимание, согласование критериев и стандартов маневренности, также как и методологии применения этих стандартов было второстепенной задачей.

В 1971 году была принята Резолюция ИМО А.209(VII), которая установила рекомендации по представлению Информации о маневренности на судне таким образом, чтобы она была доступна вахтенным помощникам капитана и лоцманам. Резолюция А.601(15) 1987 года заменила Резолюцию А.209(VII) и установила рекомендации по представлению Информации в стандартном формате.

Основываясь на работах по определению требований к маневренным характеристикам судов многих организаций ИМО в 1985 году одобрила Циркуляр MSC/Circ.389, устанавливающий временные руководства для приближенной оценки маневренности судов. Хотя Циркуляр был посвящен проблеме определения маневренных характеристик судов и их

приближенной оценке на стадии проектирования, стандарты маневренности судов в нем не рассматривались.

В 1993 году ИМО приняла Резолюцию А.75(18), установившую временные стандарты маневренности судна. Основными маневренными качествами, минимальные требования к которым определяются стандартами, являются: поворотливость (нормируются выдвиг и тактический диаметр циркуляции); начальная поворотливость (быстрота реакции на отклонение рулевого органа); устойчивость на курсе; способность к одерживанию поворота; способность останавливаться (торможение). Резолюция рекомендовала, чтобы вновь строящиеся суда удовлетворяли установленным временным стандартам, и их маневренные качества проверялись после постройки на соответствие этим стандартам. Резолюция также рекомендовала всем государствам-членам ИМО работать по этим стандартам в течение пяти лет и информировать ИМО о результатах в стандартной форме, определяемой циркуляром MSC/Circ.644.

Данные, собранные Организацией, имели целью оценить практичность применения данных минимальных требований к маневренности на глубокой воде. Временные стандарты должны были быть пересмотрены через пять лет и изменены в случае необходимости. Так как временные стандарты маневренности ИМО являлись, по сути, только рекомендацией, то многие вновь строящиеся суда им не соответствовали, и очень мало данных было передано в Организацию в течение пятилетнего срока.

В 2002 году была принята Резолюция MSC.137(76), утверждающая Временные стандарты в качестве обязательных для судов, построенных 1 января 2004 года или после этой даты. Практические соображения, безусловно, ограничивали область действия критериев ГМО: программы испытаний управляемости на соответствие критериям включают в себя только те наблюдения, которые могут проводиться параллельно обычным испытаниям ходкости и поворотливости головного судна проекта с целью исключения затрат на дополнительные испытания. Таким образом, критерии



управляемости основываются на характеристиках судна при типовой загрузке на глубокой воде и на скоростях полного хода.

Однако вопрос о маневренных качествах морского судна в стесненных условиях и на мелководье, где имеют место эффект банок и гидродинамическое взаимодействие между судами, остается открытым, как и вопрос о возможности критериев и стандартов, рекомендованных ИМО, обеспечить безопасность эксплуатации судна в таких условиях.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что существующие нормативные документы ИМО, касающиеся маневренных качеств судов, малоэффективны как средство нормирования управляемости, особенно для стесненных условий плавания.

Информация о маневренных характеристиках судна в соответствии с резолюцией ИМО А.601(15) «Требования к отображению маневренной информации на судах» должна быть представлена в виде:

- лоцманской карточки;
- таблицы маневренных характеристик (для рулевой рубки);
- формуляра маневренных элементов.

В информацию о маневренных характеристиках должны вноситься все изменения после модернизации или переоборудования судна, в результате которых могут измениться его наибольшие размеры или соответствующие характеристики.

**Лоцманская карточка.** Лоцманская карточка, подлежащая заполнению капитаном, предназначена для предоставления информации лоцману, принимающему судно под проводку. Эта информация должна дать представление о состоянии судна в период проводки в части загрузки, характеристик двигателей и движителей, рулевого и подруливающего устройства и другого соответствующего оборудования, которое используется при управлении маневрированием. Для заполнения лоцманской карточки проведение специальных ходовых испытаний не требуется.

**Таблица маневренных характеристик.** Таблица маневренных характеристик должна содержать основные особенности управления и подробную информацию о параметрах торможения и поворотливости. Она должна постоянно находиться в рулевой рубке и быть таких размеров, чтобы ею было удобно пользоваться. Текущие характеристики судна, могут отличаться от приведенных в таблице, из-за зависимости от внешних воздействий, состояния корпуса и загрузки судна. Это необходимо учитывать при практическом управлении движением судна.

В таблицу маневренных характеристик для рулевой рубки должны быть включены следующие данные.

1. Название судна, позывные, валовая и чистая вместимость, водоизмещение, дедвейт, коэффициент общей полноты при осадке в полном грузу по летнюю грузовую марку.

2. Осадки, при которых была получена информация о маневренных элементах.

3. Характеристики рулевого устройства.

4. Характеристики якорной цепи.

5. Характеристики энергетической установки.

6. Влияние подруливающего устройства в условиях испытания.

7. Увеличение осадки (в грузу) из-за проседания и влияния крена.

8. Циркуляция при максимальном угле перекладки руля (в грузу и балласте).

9. Тормозные характеристики и маневры в аварийной ситуации (в грузу и в балласте).

10. Маневрирование при спасении человека за бортом. Последовательность действий и рекомендованная циркуляция.

11. Мертвые зоны.

12. Теневые секторы.

13. Высота судна (в грузу и балласте).

Инерционные характеристики представляют в виде линейных графиков, построенных в постоянном масштабе расстояний и имеющих шкалу значений времени и скорости. Тормозной путь с передних ходов на «Стоп» ограничивают моментом потери управляемости судна или конечной скоростью, равной 20 % от исходной. На графиках показывают стрелкой наиболее вероятную сторону отклонения судна от начального пути в процессе снижения скорости.

Информация о поворотливости приводится в виде графика и таблицы. График циркуляции отражает положение судна через  $30^\circ$  на траекторию вправо и влево с положением руля «на борт» и «на полборта». Аналогичная информация представляется в табличной форме, но через каждые  $10^\circ$  изменения начального курса в диапазоне  $0-90^\circ$ , на каждые  $30^\circ$  – в диапазоне  $90-180^\circ$ , на каждые  $90^\circ$  – в диапазоне  $180-360^\circ$ . В нижней части таблицы помещают данные о наибольшем диаметре циркуляции.

Элементы ходкости отражают в виде графической зависимости скорости судна от частоты вращения гребного винта и дополняют таблицей, где на каждое значение постоянной скорости указана частота вращения гребного винта.

Увеличение осадки судна учитывается при крене и проседании, когда судно движется на ограниченной глубине с определенной скоростью.

Элементы маневра для спасения человека, упавшего за борт, выполняют приемом координат на правый или левый борт. В информации указывают следующие данные для выполнения правильного маневра: угол отворота от начального курса; оперативное время перекладки руля на противоположный борт, выхода на контркурс и в точку начала маневра; действия судоводителя на каждом этапе эволюции.

Все расстояния в информации о маневренных элементах приводят в кабельтовых, время – в минутах, скорость – в узлах.

**Формуляр маневренных элементов** должен содержать достаточно подробное описание маневренных характеристик и другие соответствующие

данные. В него должна быть включена информация, приведенная в таблице маневренных характеристик, и другая имеющаяся информация о характеристиках судна. Большая часть информации о маневренных характеристиках в формуляре может быть рассчитана, однако некоторая ее часть должна быть получена при испытаниях. Информация может пополняться в течение всего срока эксплуатации судна.

Винторулевой комплекс морских судов, как правило, не обеспечивает их необходимую маневренность при движении на малых скоростях. Поэтому на многих судах для улучшения маневренных характеристик используются *средства активного управления (САУ)*, которые позволяют создавать силу тяги в направлениях, отличных от направления диаметральной плоскости судна. К ним относятся: крыльчатые движители, активные рули, подруливающие устройства, поворотные винтовые колонки и отдельные поворотные насадки.

Однако существующие требования ИМО не конкретны и не позволяют определить форму представления данных и их количество, которые необходимы для организации процесса управления, и методику использования. К сожалению, часть необходимых данных просто бесполезны. Например, время и путь торможения полным задним ходом, не могут быть использованы для планирования маневров, поскольку если возникает необходимость их применения, то никакой предварительный расчет не требуется.

Другим недостатком информации является форма представления параметров. В современный век компьютерных технологий использование данных о характеристиках, которые представлены в виде графиков для режимов, которые не используются при планировании движения, не всегда обеспечивает безопасное управление движением.

Исторически сложилось так, что данные о маневренных характеристиках первоначально выражались в длинах корпуса судна. Это обусловлено тем, что при обзорно – сравнительном способе управления

маневрированием, судоводитель визуально оценивает расстояния до знаков навигационного ограждения и других судов в длинах корпуса собственного судна.

Однако, несмотря на появление современных навигационных устройств, такой способ управления не потерял своего значения и сегодня. Другой особенностью указанного способа является особенность восприятия процесса движения судоводителем. При криволинейном движении ему кажется, что поворот судна происходит вокруг него, в то время когда оно вращается вокруг полюса поворота (ПП). Это приводит к неверной визуальной оценке положения судна относительно плановой линии пути. Поэтому судоводителю необходима дополнительная информация о положении ПП для безопасного управления движением.

У монографії розглядаються наукові й практичні проблеми створення систем підтримки прийняття рішень у судноводінні. Наведено математичні моделі управління рухом суден при розходженні та маневруванні. Розглянуто принципи побудови систем підтримки прийняття рішень з управління рухом суден і критерії оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій. Представлені практичні рекомендації щодо запобігання зіткненню суден при маневруванні у вузькостях і за наявності навігаційних небезпек.

Для докторантів, аспірантів, магістрів, науковців, викладачів і студентів закладів вищої освіти, які вивчають і досліджують проблеми безпеки мореплавства.

Наукове видання

**Мальцев** Анатолій Сідоровіч  
**Бень** Андрей Павлович

## **СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА**

Монографія

(Рос. мовою)

Відповідальний за випуск *Р. Є. Врублевський*  
Друк, фальцювально-палітурні роботи *В. Г. Удов*  
Технічний редактор *Т. О. Радул*

Формат 60x84/16. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 15

Підписано до друку року 20.12.2019

Тираж 300 примірників. Зам. № 61

Видавництво

Херсонська державна морська академія,  
просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000

Тел.: 49–20–20

Ел. адреса: [rvv@ksma.ks.ua](mailto:rvv@ksma.ks.ua)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої  
справи до Державного реєстру  
ДК № 4319 від 10.05.2012