

ВЕСТНИК

ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА

Выпуск 6 (28)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- С. О. Барышников, д.т.н., проф. (*главный редактор*) • Т. А. Пантина, д.э.н., проф. (*зам. гл. редактора*)
- О. К. Безюков, д.т.н., проф. • В. В. Веселков, д.т.н., проф. • П. А. Гарибин, д.т.н., проф.
- Д. П. Голоскоков, д.т.н., проф. • Б. П. Ивченко, д.т.н., проф. • Ю. М. Искандеров, д.т.н., проф.
- О. Г. Каратаев, д.т.н., проф. • А. В. Кириченко, д.т.н., проф. • М. А. Колосов, д.т.н., проф.
- Е. А. Королева, д.э.н., проф. • И. И. Костылев, д.т.н., проф. • Е. А. Лаврентьева, д.э.н., проф.
- А. Ю. Ластовцев, к.т.н., проф. • С. Б. Лебедев, д.э.н., проф. • В. А. Логиновский, д.т.н., проф.
- Г. В. Макаров, д.т.н., проф. • В. Е. Марлей, д.т.н., проф. • А. М. Никитин, д.т.н., проф.
- А. П. Нырков, д.т.н., проф. • Л. И. Погодаев, д.т.н., проф. • Н. В. Растрьгин, к.т.н., доц.
- В. И. Решняк, д.т.н., проф. • В. В. Романовский, д.т.н., проф. • А. А. Сикарев, д.т.н., проф.
- И. П. Скобелева, д.э.н., проф. • С. В. Смоленцев, д.т.н., проф. • А. Л. Степанов, д.т.н., проф.
- М. В. Сухотерин, д.т.н., проф. • Е. Г. Трунин, к.э.н., директор РРР • Г. В. Ушакова, к.и.н., проф.
- В. И. Черненко, д.т.н., проф. • В. Б. Чистов, д.т.н., проф.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- Ю. Н. Горбачев — генеральный конструктор ОАО «Инженерный центр судостроения», д.т.н., проф.
- С. Гуцма — ректор Морской академии (г. Щецин, Польша), д.т.н., проф.
- Г. В. Егоров — генеральный директор ЗАО «Морское инженерное бюро — СПб», д.т.н., проф.
- Ф. В. Кармазинов — генеральный директор ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», д.т.н., проф.
- Р. Качиньски — проректор по развитию и сотрудничеству Технического университета (г. Белосток, Польша), д.т.н., проф.
- А. И. Пошивай — заместитель руководителя Федерального агентства морского и речного транспорта
- А. Е. Сазонов, д.т.н., проф., член-корреспондент РАН
- Р. М. Юсупов — директор Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, д.т.н., проф., член-корреспондент РАН

Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — Вып. 6. — 203 с.

ISSN 2309-5180

«Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» является научным периодическим изданием, зарегистрированным Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство о регистрации средства массовой информации от 17 июля 2013 г. ПИ № ФС 77-54734).

В Вестнике публикуются материалы научных исследований, а также статьи для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по следующим основным направлениям: **судовождение и безопасность на водном транспорте; судовые энергетические установки, системы и устройства; судостроение и судоремонт; водные пути, гидротехнические сооружения и порты; логистика и транспортные технологии; экономика и управление на транспорте; экология и охрана окружающей среды; информационные технологии; международное морское право.**

Статьи публикуются на русском и английском языках.

Статьи тщательно отбираются по критериям новизны, актуальности, научно-практической значимости, возможности реального использования описанных в них новых технологий на водном транспорте. По содержанию статьи должны соответствовать названию журнала, его целям и задачам.

Статьи рецензируются независимыми экспертами.

Кроме того, в Вестнике публикуются обзорные материалы научных конференций, семинаров и совещаний; сообщения и статьи к юбилейным датам и знаменательным событиям университета и его ведущих ученых.

Вестник включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ.

Вестнику присвоен международный стандартный номер сериального периодического издания ISSN 2309-5180.

С 2009 года журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Индекс для подписки: 37276.



Уважаемые коллеги!



*Редакционная коллегия и редакционный совет
журнала «Вестник Государственного
университета имени адмирала С.О. Макарова»
поздравляет вас с Новым Годом и Рождеством!*

*Несомненно, уходящий год подарил
много радостных и грустных перемен.*

*Новый год — это возможность начать все сначала
или продолжить начатое в прошлом году.*

*От всей души и сердца желаем
в наступающем Новом Году, чтобы всегда
сопутствовала удача и сопровождал успех в любом деле.
Пусть 2015 год принесет в ваш дом счастье, радость,
здоровье и удовлетворение
в профессиональной деятельности!*



**Перечень специальностей и направлений подготовки
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
объявленных на 2015/2016 к приему на обучение**

Подготовка бакалавров

	Наименование направления подготовки	Код направления подготовки	по очной форме		по заочной форме (квалификация «академический бакалавр»)
			квалификация «академический бакалавр»	квалификация «прикладной бакалавр»	
1	Прикладная математика и информатика	01.03.02	+	-	-
2	Строительство	08.03.01	+	+	+
3	Информационные системы и технологии	09.03.02	+	+	-
4	Прикладная информатика	09.03.03	+	-	-
5	Информационная безопасность	10.03.01	+	-	-
6	Электроэнергетика и электротехника	13.03.02	+	-	+
7	Природообустройство и водопользование	20.03.02	0	-	+
8	Технология транспортных процессов	23.03.01	+	-	+
9	Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов	23.03.03	+	-	+
10	Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства – Управление водными и мультимодальными перевозками	26.03.01	+	-	+
11	Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства – Гидрографическое обеспечение мореплавания морских инженерных изысканий	26.03.01	+	-	+
12	Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры	26.03.02	+	+	-
13	Экономика	38.03.01	+	-	0
14	Менеджмент	38.03.02	+	-	-
15	Государственное и муниципальное управление	38.03.04	0	-	0
16	Юриспруденция – Общий профиль		+		+
17	Юриспруденция – Правовое обеспечение деятельности водного транспорта	40.03.01	+	-	+
18	Туризм	43.03.02	+	-	-

Подготовка специалистов

	Наименование специальностей подготовки	Код направления подготовки	по очной форме	по заочной форме
19	Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования	25.05.03	+	-
20	Судовождение	26.05.05	+	+
21	Эксплуатация судовых энергетических установок	26.05.06	+	+
22	Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики	26.05.07	+	+
23	Информационная безопасность автоматизированных систем	10.05.03	+	-

Подготовка магистров

	Наименование направлений подготовки магистров	Код направления подготовки	по очной форме	по заочной форме
1.	Строительство*			
2.	Информационные системы и технологии*			
3.	Информационная безопасность*			
4.	Природообустройство и водопользование*			
5.	Технология транспортных процессов*			
6.	Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства			
7.	Кораблестроение, океанотехника и системотехника			
8.	Экономика			
9.	Менеджмент			
10.	Юриспруденция*			

+ есть прием на бюджет и на платной основе

- приема нет

0 есть прием только на платной основе

* Прием будет объявлен в случае получения лицензии в срок до 01.06.2015

СОДЕРЖАНИЕ

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 9

<i>Бурмака И. А., Булгаков А. Ю.</i> Управление группой судов в ситуации опасного сближения	9
<i>Некрасов С. Н., Ефимов К. И., Трененков Д. В.</i> Навигационные риски буксировки судна в стесненных навигационных условиях	13
<i>Решняк В. И., Щуров А. Г., Витязева О. В.</i> Профессиональная деятельность работников флота в условиях хронофизиологической адаптации	20
<i>Шахнов С. Ф.</i> К расчету помехозащищенности радиоканалов речной локальной дифференциальной подсистемы при использовании детерминированных сигналов и взаимных помех	24

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА 31

<i>Безюков О. К., Жуков В. А., Яценко О. И.</i> Газомоторное топливо на водном транспорте	31
<i>Григорьев А. В., Колесниченко В. Ю.</i> Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций	39
<i>Каракаев А. Б., Луканин А. В.</i> Методические вопросы синтеза контролепригодности размещения компонентов объекта в конструктивных единицах ограниченного объема по минимуму точек контроля	44
<i>Николаев Н. И., Герасиди В. В., Лисаченко А. В.</i> Анализ экспериментальных данных по нагрузкам современных высокооборотных двигателей САТ 3500 серии морских буксиров	49
<i>Романовский В. В., Лебедев А. И., Гостев А. Г.</i> Качество электроэнергии гребных электрических установок судов ледового плавания и ледоколов	56
<i>Труднев С. Ю.</i> Исследование параллельной работы шим-инвертора и однофазной сети	60

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ 67

<i>Белецкий Е. Н.</i> Моделирование процесса силового взаимодействия инструмента при механической обработке заготовок ответственных деталей из композиционных углепластиков, применяемых в судостроении	67
<i>Марченко А. А., Портнягин Н. Н.</i> Энергоэффективное нагружение асинхронных электродвигателей в процессе послеремонтных испытаний	76
<i>Алиев Ч. М.</i> Методика эксплуатационных испытаний дизельных двигателей с гильзами, имеющими антикавитационные покрытия	84
<i>Москаленко М. А., Субботин З. М., Захарина Л. В.</i> Оценка эффективности модернизации корпуса морских судов малой тоннажной группы	88
<i>Романова Е. А., Романов А. Д.</i> Разработка учебного парусного судна для внутренних водных путей	95

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-54734 от 17.07.2013 г.

Адрес редакции: 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7.

Подписной индекс в каталоге Роспечать — 37276.

Все материалы, поступившие в редакцию, рецензируются.

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ	102
<i>Воробьев А. Е.</i> Основы механизма эффективного применения промышленных нанотехнологий при добыче аквальных газогидратов	102
<i>Савчук В. Д., Клименко Е. Н., Крат И. П.</i> Определение массы погруженного в трюм навалочного груза с использованием лазерных дальномеров	109
<i>Фирсов Ю. Г., Иванов М. В., Колосков Е. Н.</i> Новый этап батиметрических исследований северных акваторий России на примере Карского моря	115
<i>Хлюпин Л. А.</i> Причальные устройства для заправки судов сжиженным природным газом	125
ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	129
<i>Адамов Е. И., Отделкин Н. С., Сикарев С. Н.</i> Устройства, снижающие потери сыпучих грузов при перегрузке рейферными кранами	129
<i>Железкова П. Е., Никифоров В. Г.</i> Грузооборот портов Северо-Западного региона России на Балтийском море	133
<i>Скобелева И. П.</i> Стейкхолдеры — носители стратегических факторов успеха современных транспортных корпораций	139
<i>Ерофеев В. Л., Ерофеева Е. В.</i> Практика и проблемы оценки энергетической эффективности объектов инфраструктуры водного транспорта	143
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ	155
<i>Ботнарчук М. В.</i> Российский рынок стивидорных услуг и особенности его развития на современном этапе	155
<i>Еникеева Л. А., Торосян Е. К., Фейлинг Т. Б.</i> Формирование стратегий развития морского и речного транспорта РФ на фоне кризисных процессов в условиях глобальной нестабильности мировых экономических систем	163
<i>Пушкарева Л. В.</i> Анализ и прогноз грузовых перевозок морским транспортом в России	173
<i>Малько А. В.</i> Исследование сектора судостроения и судоремонта Турции как части морского транспортного бизнес кластера Черного и Мраморного моря	179
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	185
<i>Белоусов А. С.</i> Алгоритмическое обеспечение функционирования мультисервисных сетей транспортной отрасли	185
<i>Мальцев В. А.</i> Применение метода конечных элементов к расчету напряженно-деформированного состояния палубных перекрытий контейнеровоза	190

CONTENST

NAVIGATION AND SAFETY ON WATER TRANSPORT	9
<i>Burmaka I. A., Bulgakov A. YU.</i> Management of the group of vessel in the situation of dangerous approach	9
<i>Nekrasov S. N., Yefimov K. I., Trenenkov D. V.</i> Navigation risks towing in cramped navigational conditions	13
<i>Reshnyak V. I., Shchurov A. G., Vityazeva O. V.</i> Professional activities of fleet workers in conditions of chronophysiological adaptation	20
<i>Shakhnov S. F.</i> To calculation of the noise-protection of the radio channels of river lds with the use of the deterministic signals and mutual disturbances	24
SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND DEVICE	31
<i>Bezyukov O. K., Zhukov V. A., Yashchenko O. I.</i> Dual-fuel engines on water transport	31
<i>Grigor'yev A. V., Kolesnichenko V. Yu.</i> Improving the efficiency of marine diesel power plants	39
<i>Karakayev A. B., Lukanin A. V.</i> Methodical questions of controllability synthesis in terms of object components placement in limited volume constructive units by control points minimum	44
<i>Nikolayev N. I., Gerasidi V. V., Lisachenko A. V.</i> Modern high-speed engines CAT 3500 series of marine tugs analysis of loads experimental data	49
<i>Romanovskiy V. V., Lebedev A. I., Gostev A. G.</i> Electricity quality of rowing electrical installations of ice ships and icebreakers	56
<i>Trudnev S. YU.</i> Research of parallel work of PWM inverter and single-phase network	60
SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR	67
<i>Beletskiy Ye. N.</i> Modeling of the process of force interaction of the tool in the machining of workpieces critical parts made of composite plastics used in shipbuilding	67
<i>Marchenko A. A., Portnyagin N. N.</i> Power effective loading of asynchronous electric motors in the course of postrepair tests	76
<i>Aliyev Ch. M.</i> Method of explotative tests üith diesel engines and shells having anti-cavitation coating	84
<i>Moskalenko M. A., Subbotin Z. M., Zakharina L. V.</i> Assessment of the effective feasibility modernization of hull marine vessels of small tonnage	88
<i>Romanova Ye. A., Romanov A. D.</i> Development of the training sailing ship for internal waterways	95
WATERWAYS, WATERWORKS AND PORTS	102
<i>Vorob'yev A. Ye.</i> Bases of the mechanism of effective application of industrial nanotechnologies at production of aquatic gas-hydrates	102
<i>Savchuk V. D., Klimenko Ye. N., Krat I. P.</i> The calculation of the weight of the bulk loaded into the hold with the use of laser rangefinders	109

<i>Firsov Yu. G., Ivanov M. V., Koloskov Ye. N.</i> The new stage of the Russian northern basins bathymetric investigations - Kara sea example	115
<i>Khlyupin L. A.</i> Mooring facilities for refueling of vessels liquefied natural gas	125
LOGISTICS AND TRANSPORT TECHNOLOGY	129
<i>Adamov Ye. I., Otdelkin N. S., Sikarev S. N.</i> Device reduces losses in bulk cargo reloading grabbing crane	129
<i>Zhelezkova P. Ye., Nikiforov V. G.</i> Cargo turnover ports of northwest region Russia on the Baltic sea	133
<i>Skobeleva I. P.</i> Stakeholders as carriers of strategic succes factors of modern transport corporation	139
<i>Yerofeyev V. L., Yerofeyeva Ye. V.</i> Practice and problems of estimating the energy efficiency of water transport infrastructure	143
ECONOMICS AND MANAGEMENT OF THE TRANSPORT	155
<i>Botnaryuk M. V.</i> The Russian market of stevedoring services and features of its development at present stage	155
<i>Yenikeyeva L. A., Torosyan Ye. K., Feyling T. B.</i> Formation of the strategies for development of sea and river transport of the Russian Federation against a background of crisis processes in the context of global instability of the world economic systems	163
<i>Pushkareva L. V.</i> The analysis and the forecast of freight transportation by sea transport Russia	173
<i>Mal'ko A. V.</i> Ship repair and shipbuilding sector of Turkey as a part of the Black sea and the Marmara sea maritime transport business cluster	179
INFORMATION TECHNOLOGY	185
<i>Belousov A. S.</i> Algorithmic support the operation of multi-service networks of the transport industry	185
<i>Mal'tsev V. A.</i> The use of finite element method to calculate the stress-strain state of containership deck grillage	190

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.61.052.484

И. А. Бурмака,
канд. техн. наук, доцент,
Одесская национальная морская академия;

А. Ю. Булгаков,
ассистент,
Одесская национальная морская академия

УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ СУДОВ В СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ

MANAGEMENT OF THE GROUP OF VESSEL IN THE SITUATION OF DANGEROUS APPROACH

Рассмотрены основные вопросы управления группой судов в ситуации опасного сближения с помощью систем управления движением судов. Предложена процедура формирования группы взаимодействующих судов с помощью методов n-управляемых динамических систем, для чего рассмотрены ситуационные возмущения, возникающие между судами, которые являются элементами матрицы возмущения. Показано, что при компенсации ситуационного возмущения пары судов, характеризуемого элементом матрицы возмущения, возможна реализация одного из тех типов парной стратегии расхождения, когда маневр осуществляется одним из судов при неизменных параметрах движения другого и при одновременном маневре обоих судов. Приведен способ формирования стратегии компенсации возникающих ситуационных возмущений, минимизирующий число маневрирующих судов с обеспечением максимального уровня безопасности процесса расхождения.

The basic questions of management of the group of vessels in the situation of dangerous approach by the vessel traffic control systems are considered. The intensity of situational disturbances is connected with the areas of mutual responsibilities of interacting vessels and the choice of dual strategies of divergence is determined by the corresponding element of disturbance matrix. It is shown that in case of compensation of situational disturbance between two vessels, which is characterized by the disturbance matrix element, it is possible to implement one of those types of dual divergence strategies when the maneuver is done by one vessel with the same motion parameters of the other and when the maneuver is simultaneously done by both vessels. The method of creating the compensation strategy of situational disturbances arising between vessels, which minimizes the quantity of maneuvering ships providing best safety level of the divergence process, was shown.

*Ключевые слова: предупреждение столкновений, ситуационное возмущение, стратегия расхождения.
Key words: warning of collisions, situation indignation, strategy of divergence.*

ОДНОЙ из важнейших проблем судовождения при плавании судов в стесненных условиях является проблема предупреждения столкновений судов, решению различных аспектов которой посвящены многочисленные работы ученых из разных стран [1] – [12]. Так, в работе [1] предпринята попытка решения задачи расхождения судов методами теории оптимальных дискретных процессов. В работе [2] на начальном этапе исследований рассматривается концепция формализации процесса расхождения судна с несколькими целями методами теории оптимального управления с учетом требований МППСС-72, дальнейшее развитие которой нашло свое отражение в работе [3] и производилось в направлении использования методов позиционных дифференциально-разностных игр. Работы [4], [5] посвящены применению метода нелинейной интегральной инвариантности для описания процесса расхождения судов и создания системы предупреждения их столкновений.

Подход к решению задачи выбора оптимального маневра судна при расхождении методами теории оптимальных дискретных процессов предложен сотрудниками Томского университета А. М. Куликовым и В. В. Поддубным в работе [6]. Безопасное расхождение судна в стесненных условиях маневром изменения скорости и расчет его параметров рассмотрены в работах [7], [8]. В работе [9] отмечается, что повышение эффективности предотвращения столкновений в настоящее время может достигаться созданием как новых алгоритмов, так и интеллектуальных систем. В работе для расхождения применяется одна стратегия – смещение на параллельную линию пути под тем или иным углом к линии исходного курса. Из множества возможных вариантов такой стратегии находится оптимальная по критерию, отражающему требования к безопасности, заблаговременности, заметности и экономичности маневра для предотвращения столкновения.

Понимание содержания автономной судовой системы уклонения от столкновения СА (Collision avoidance) и ее теоретическое обоснование дано в работе [10]. Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения дополнительно рассмотрены познавательные возможности человека и Правила уклонения от столкновения COLREG. С учетом факторов, влияющих на процесс уклонения от столкновения, рассматриваются требования к автономной навигации. Эти факторы способен оценить человек, осуществляя управление судном на удовлетворительном уровне, однако принятые решения являются субъективными и могут быть ошибочными, в результате чего может произойти столкновение.

Исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены в классической или компьютерной категории. Классическая техника основана на математических моделях и алгоритмах. Программы основаны на использовании искусственного интеллекта AI (Artificial Intelligence). Областью AI для систем автономного уклонения от столкновения, рассматриваемых в статье, являются эволюционные алгоритмы, логика фuzzi (*Fuzzi Logic*), экспертные методы, нейросеть NN (Neural Networks) и комбинация этих методов – гибридные системы (Hybrid System).

В работе [11] рассматриваются игровые подходы в навигационных математических моделях безопасного управления судами, а также обсуждается приложение методов теории игр для автоматизации регулирования процессов перемещения судов. Приведено определение понятия контрольной цели, описание базовой и аппроксимированной моделей многоступенчатой позиционной многошаговой матричной игры безопасного управления судна в ситуациях опасного сближения. В работе [12] с помощью методов n -управляемых динамических систем разработан аналитический аппарат теории гибких стратегий расхождения судов, учитывающий существенные факторы, влияющие на процесс расхождения.

Целью статьи является выявление принципов управления группой судов в ситуации возникновения угрозы столкновения с помощью систем безопасного управления движением судов.

Множество опасно сближающихся судов целесообразно описать как динамическую n -управляемую систему Σ_{ns} [12]. Наличие и степень опасности столкновения пары судов формализуется понятием ситуационного возмущения ω_{ij} , природа которого заключена в прогнозируемом попадании судов в область недопустимых позиций. Взаимодействие всего множества судов характеризуется матрицей ситуационного возмущения W_{bn} , элементом которой является характеристика ситуационного возмущения ω_{ij} .

Ситуационное возмущение переводит динамическую систему Σ_{ns} из невозмущенного системного состояния в возмущенное. Общая стратегия компенсации ситуационного возмущения предусматривает перевод динамической системы Σ_{ns} в начальное невозмущенное состояние путем уничтожения в структуре системы связей взаимодействия между судами, возникающими в результате опасного сближения.

Рассмотрим управление динамической системы Σ_{ns} внешним управленцем Ξ (полное управление), который наблюдает матрицу W_{bn} и при наличии ситуационного возмущения переводит динамическую систему в невозмущенное состояние общей стратегией, включающей необходимое минимальное число управлений судами матрицы. Таким управленцем может быть система

управления движением судов (СУДС), которая по матрице ситуационного возмущения W_{bn} определяет общую стратегию расхождения $G_n = \{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_n\}$, состоящую из стратегий g_i судов динамической системы Σ_{ns} , а затем каждому из взаимодействующих судов сообщается его частная стратегия как компонента общей. Все взаимодействующие суда реализуют предписанные частные стратегии g_i , в результате чего опасность столкновения между судами системы исчезает. Очевидно, что развитие принципов полного управления динамической системой Σ_{ns} внешним управленцем Ξ является одним из наиболее перспективных направлений снижения аварийности в стесненных условиях плавания.

Предположим, в стесненном районе плавания имеется некоторое конечное множество судов Mn_0 , из которого необходимо сформировать динамическую систему Σ_{ns} , число судов которой равно или меньше числа судов исходного множества Mn_0 , т.е. $\Sigma_{ns} \subseteq Mn_0$. Так как суда множества перемещаются и их относительные позиции изменяются, структура динамической системы Σ_{ns} и матрица ситуационного возмущения W_{bn} являются функцией времени t , т.е. $\Sigma_{ns}(t)$ и $W_{bn}(t)$. С учетом того, что структура динамической системы Σ_{ns} изменяется во времени, управление системой Σ_{ns} требует наблюдения за ее состоянием (структурой и матрицей W_{bn}) в некоторый момент времени t_n и прогноза состояния в течение некоторого интервала времени Δt_n при условии, что все не зависящие от времени характеристики системы остаются неизменными в течение данного интервала времени. Поэтому предполагается, что группа судов, составляющая динамическую систему Σ_{ns} , в момент времени наблюдения t_n сохраняется в течение интервала времени Δt_n , а в очередной момент времени наблюдения $t_n + \Delta t_n$ осуществляется контроль структуры системы Σ_{ns} и матрицы ситуационного возмущения.

Если внешним управленцем является СУДС, то основным принципом выделения группы взаимодействующих судов является учет их близости к СУДС, которым предписывается некоторый район S_c контроля и управления движущихся судов. Группой взаимодействующих судов являются суда, находящиеся в районе контроля и управления S_c и опасно сближающиеся с другими судами системы Σ_{ns} . В этом случае размерность матрицы ситуационного возмущения W_{bn} определяется числом судов, находящихся в районе S_c , а элементы матрицы, т.е. парные ситуационные возмущения судов, находятся по их относительным позициям и параметрам движения. Если судно покидает район S_c , то оно исключается из группы взаимодействующих судов, а если, наоборот, входит в район S_c , то оно включается в динамическую систему Σ_{ns} . Относительное положение каждой пары судов и их параметры движения характеризуют ситуацию S_i , возникающую для пары судов.

Для декомпозиции подмножества ситуаций опасного сближения S_ω целесообразно, применив Правило 17 МППСС-72) [11], разбить подмножество S_ω на три области: $S_{\omega 1}$, $S_{\omega 2}$ и $S_{\omega 3}$, так называемые области взаимных обязанностей. При этом ситуационные возмущения характеризуют принадлежность ситуации в начальный момент обнаружения опасного сближения к одной из областей $S_{\omega i}$.

Интенсивность ситуационного возмущения ω_{ij} связана с областями взаимных обязанностей следующим образом:

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{при } S_i \in S_S; \\ 1, & \text{при } S_i \in S_{\omega 1}; \\ 2, & \text{при } S_i \in S_{\omega 2}; \\ 3, & \text{при } S_i \in S_{\omega 3}, \end{cases}$$

где S_S – подмножество безопасных ситуаций.

Если в матрице ситуационного возмущения W_{bn} имеются элементы ω_{ij} , отличные от нуля, то для соответствующей пары судов s_i и s_j существует угроза столкновения, предотвращение которой (компенсация ситуационного возмущения) требует выбора стратегии расхождения $g_{ij} = \{g_i, g_j\}$. В общем случае парная стратегия расхождения g_{ij} предусматривает маневры каждого из взаимодействующих судов g_i и g_j , однако ситуационное возмущение может быть компенсировано манев-

ром одного из судов при неизменных параметрах движения другого, т.е. (g_i, g_{j0}) или (g_{i0}, g_j) . Таким образом, стратегия расхождения пары судов g_{ij} может быть реализована одной из трех составных стратегий. Следовательно, $g_{ij} = \{(g_i, g_j) \wedge (g_i, g_{j0}) \wedge (g_{i0}, g_j)\}$.

Если в матрице ситуационного возмущения W_{bn} имеются ненулевые элементы ω_{ij} в одной строке или в одном столбце, это означает, что одно из судов одновременно опасно сближается с несколькими другими судами. Допустим, матрица W_{bn} содержит элементы ω_{ij} , ω_{ik} и ω_{is} . Это означает, что судно c_i опасно сближается с судами c_j , c_k и c_s , причем $\omega_{jk} = 0$, $\omega_{js} = 0$ и $\omega_{ks} = 0$. Поэтому компенсация ситуационных возмущений ω_{ij} , ω_{ik} и ω_{is} возможна с применением стратегий $g_{ij} = \{(g_i, g_j) \wedge (g_i^{(j)}, g_{j0}) \wedge (g_{i0}, g_j)\}$, $g_{ik} = \{(g_i, g_k) \wedge (g_i^{(k)}, g_{k0}) \wedge (g_{i0}, g_k)\}$ и $g_{is} = \{(g_i, g_s) \wedge (g_i^{(s)}, g_{s0}) \wedge (g_{i0}, g_s)\}$. Следует отметить, что в каждой из них имеется составная стратегия самостоятельной компенсации ситуационного возмущения. Таким образом, стратегиями $(g_i^{(j)}, g_{j0})$, $(g_i^{(k)}, g_{k0})$ и $(g_i^{(s)}, g_{s0})$ судно c_i может самостоятельно безопасно разойтись со всеми тремя судами, сохраняющими свои параметры движения. Если пересечение всех трех стратегий уклонения: $g_i^{(j)}$, $g_i^{(k)}$ и $g_i^{(s)}$ существует, т.е. $g_i^{(\Sigma)} = \{g_i^{(j)} \cap g_i^{(k)} \cap g_i^{(s)}\} \neq \emptyset$, то одной стратегией уклонения $g_i^{(\Sigma)}$ судно c_i может компенсировать ситуационные возмущения ω_{ij} , ω_{ik} и ω_{is} . Если стратегии уклонения $g_i^{(\Sigma)}$ не существует ($g_i^{(\Sigma)} = \emptyset$), то следует аналогично проверить возможность компенсации ситуационных возмущений маневрами уклонения двух судов или, в крайнем случае, всех трех судов.

В ситуациях, когда судно опасно сближается с несколькими судами, наиболее предпочтительным является вариант компенсации возникших ситуационных возмущений общей стратегией уклонения одного судна. С увеличением числа судов, маневрами которых компенсируется ситуационное возмущение, предпочтение данной стратегии снижается.

При существовании нескольких стратегий расхождения маневрами одинакового числа судов более предпочтительной является стратегия, реализация которой требует меньшего уклонения маневрирующих судов от их программных траекторий движения [12]. При анализе матрицы ситуационного возмущения W_{bn} выявляются строки матрицы, содержащие элементы $\omega_{ij} \neq 0$. Если элементов несколько, то находим стратегию $g_{\min i}^{(\Sigma)}$ их компенсации минимальным числом маневрирующих судов. Если в строке один ненулевой элемент ω_{ij} , то выбираем стратегию $g_i^{(V)}$ его компенсации маневром одного судна с большей скоростью. После анализа всех строк матрицы W_{bn} общая стратегия расхождения $G_n = \bigcup_i g_{\min i}^{(\Sigma)}, g_i^{(V)}$ содержит стратегии, позволяющие компенсировать ситуационные возмущения матрицы W_{bn} минимальным количеством взаимодействующих судов.

Выводы

Рассмотрен способ управления группой судов в ситуации опасного сближения и возникновения угрозы столкновения при полном внешнем управлении с помощью систем управления движением судов.

Предложена процедура формирования группы взаимодействующих судов и определения их матрица ситуационного возмущения, характеризующая интенсивность и уровень опасности возможных сближений.

Приведен способ определения совместной стратегии расхождения, который минимизирует число маневрирующих судов.

Список литературы

1. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный. // Судостроение. – 1984. – № 12. – С. 22–24.
2. Фрейдзон И. Р. Моделирование корабельных систем управления: монография / И. Р. Фрейдзон. – Л.: Судостроение, 1975. – 232 с.

3. Кудряшов В. Е. Математическая модель процесса расхождения нескольких управляемых объектов / В. Е. Кудряшов. // Известия ЛЭТИ. – 1976. – № 206. – С. 15–19.
4. Павлов В. В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления / В. В. Павлов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 272 с.
5. Павлов В. В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов / В. В. Павлов, Н. И. Сеньшин. // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – № 68. – С. 43–45.
6. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. – № 12. – С. 22–24.
7. Сафин В. И. Использование маневра изменения скорости для предотвращения столкновения судов / В. И. Сафин, Е. Е. Тюпиков // Судовождение. – 2005. – № 10. – С. 143–147.
8. Тюпиков Е. Е. Анализ возможности расхождения судна с целью изменением скорости / Е. Е. Тюпиков // Судовождение. – 2006. – № 12. – С. 122–126.
9. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути: монография / Л. Л. Вагущенко. – Одесса: Феникс, 2013. – 180 с.
10. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus // J. Navig. – 2008. 61. – № 1. – P. 129–142.
11. Lisowski J. The dynamic game models of safe navigation / J Lisowski // Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2007. – P. 23–30.
12. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

УДК 656.61

С. Н. Некрасов,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова;

К. И. Ефимов,
ассистент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Д. В. Трененков,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова

НАВИГАЦИОННЫЕ РИСКИ БУКСИРОВКИ СУДНА В СТЕСНЕННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

NAVIGATION RISKS TOWING IN CRAMPED NAVIGATIONAL CONDITIONS

Рассмотрен вопрос определения навигационных рисков прохода судов подходного фарватера к порту Высоцк при различных гидрометеорологических условиях. Используются методы, известные в теории вероятностей и математической статистике для оценки навигационных рисков. Оценку навигационных рисков буксировки предложено производить стохастическими методами, учитывая смещение центра величины судна и изменчивость маневренной полосы движения. Показано, что по результатам имитационного моделирования движения судна по фарватерам и подходным путям п. Высоцк