

родинамика судов с динамическими принципами поддержания / под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 544 с.: ил.

5. Юдин, Ю.И. Метод моделирования силового воздействия нерегулярного волнения на танкер [Текст]/ Ю.И. Юдин, В.В. Перевозов // Эксплуатация морского транспорта. - 2019. - № 2(91). - С. 50-59.
6. Юдин Ю.И. Расчёт аэродинамических усилий [Текст]/Ю.И. Юдин, Г.Ю. Ищейкин //Морские интеллектуальные технологии/ – 2019. - № 4 Т.3. С. 24-32
7. Юдин, Ю.И. Расчет переменных составляющих воздействия регулярного волнения на танкер [Текст]/ Ю.И. Юдин, В.В. Перевозов // Эксплуатация морского транспорта. - 2019. - № 1(90). - С. 38-45.
8. Юдин, Ю.И. Идентификация математической модели контейнеровоза проекта ARCTIC CONTAINER SHIP ACS 650 для различных этапов швартовки[Текст]/ Ю.И. Юдин, С.В. Папенцев, Б.В. Дабиза, Г.М. Соловьёв, С.О. Петров // Эксплуатация морского транспорта. - 2019. - № 3(92). - С. 89-107.
- gosud. tekhn. un-t.- № 2012108992/11; zayavl. 11.03.2012; opubl. 10.12.2013, Byul. № 34. – 9 s.: il.
3. Pat. 2509031 Rossijskaya Federaciya, MPK V 63 N 25/52 (2006.01). Sposob upravleniyasudnom pri vypolnenii im shvartovnoj operacii k bortu sudna partnera, stoyashchego na yakore / YUdin YU.I., Ivanov V.V., Holichev S.N., Petrov S.O.; zayavitel' i patentoobladatel' Murman. gosud. tekhn. un-t.- № 2012143196/11; zayavl. 09.10.2012; opubl. 10.03.2014, Byul. № 7. – 9 s.: il.
4. Spravochnik po teorii korablya. V 3 t. T. 3. Upravlyaemost' vodoizmeshchayushchih sudov. Gidrodinamika sudov s dinamicheskimi principami podderzhaniya / pod red. YA.I. Vojtkunskogo. – L.: Sudostroenie, 1985. – 544 s.: il.
5. YUdin, YU.I. Metod modelirovaniya silovogo vozdejstviya neregulyarnogo volneniya na tanker [Tekst]/ YU.I. YUdin, V.V. Perevozov // Ekspluatatsiya morskogo transporta. - 2019. - № 2(91). - S. 50-59.
6. YUdin YU.I. Raschyot aerodinamicheskikh usilij [Tekst]/YU.I. YUdin, G.YU. Ishchejkin//Morskie intellektual'nye tekhnologii/Marine intellectual technologies – 2019. - № 4 Т.3. S. 24-32
7. YUdin, YU.I. Raschet peremennyh sostavlyayushchih vozdejstviya regul'yarnogo volneniya na tanker [Tekst]/ YU.I. YUdin, V.V. Perevozov // Ekspluatatsiya morskogo transporta. - 2019. - № 1(90). - S. 38-45.
8. YUdin, YU.I. Identifikaciya matematicheskoy modeli kontejnerovoza proekta ARCTIC CONTAINER SHIP ACS 650 dlya razlichnyh etapov shvartovki[Tekst]/ YU.I. YUdin, S.V. Pashencev, B.V. Dabizha, G.M. Solov'yov, S.O. Petrov // Ekspluatatsiya morskogo transporta. - 2019. - № 3(92). - S. 89-107.

References

УДК 629.12.001.2

DOI: 10.34046/aumsuomt101/13

МЕСТО МППСС-72 В РЕАЛИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ СУДОХОДСТВА (К 50-ЛЕТИЮ МППСС-72)

В. В. Астреин, доктор технических наук, профессор

В современном судоходстве около 20% аварий происходят по причине столкновений судов. Этот показатель сохраняется длительное время со слабой тенденцией к уменьшению. Для решения проблемы аварийности выдвигаются разные предложения, в том числе и предложение принятия новых МППСС. Однако философия и концепция предлагаемых новых правил остается без изменения, поэтому такая замена является нецелесообразной и даже вредной. Изменение МППСС-72 к требованиям современного судоходства может произойти из-за внедрения новых технологий и технических средств: систем поддержки принятия решений и автоматизации судоходства. Это потребует значительной переработки законодательных инструментов ИМО, в том числе и МППСС-72. В статье рассматриваются два подхода. Первый подход (ИМО) направлен на сохранение МППСС-72 в качестве основы для предупреждения столкновений судов. Второй подход основан не на Правилах, а на индивидуализированной оценке ситуации сближения судов. Первый подход предусматривает подстройку МППСС-72 к каждому уровню автономного судоходства, а второй направлен на создание автоматической системы предупре-

ждения столкновений, где знания и логика представлены в виде программы на некотором языке программирования. В следующем десятилетии будет проводиться тестирование, апробация и выбор лучших технологий для автономного судовождения. Будет окончательно указано место МППСС-72 в реалиях изменяющегося судоходства.

Ключевые слова: принципы и философия МППСС-72, новые МППСС, автономное судоходство, уровни автоматизации судна, система правил, индивидуализированный подход, тестирование и апробация технологий для автономного судовождения

THE PLACE OF COLREGS IN THE REALITIES OF CHANGING SHIPPING (TO THE 50TH ANNIVERSARY OF COLREGS)

V. V. Astrein

In modern shipping, about 20% of accidents occur due to ship collisions. This indicator persists for a long time with a weak tendency to decrease. To solve the problem of accidents, various proposals have been put forward, including the proposal for the New COLREGs. However, the philosophy and concept of the proposed new rules remain unchanged, so such a replacement is impractical and even harmful. A change in the COLREGs to the requirements of modern shipping may occur due to the introduction of new technologies and technical means: decision support systems and navigation automation. This will require significant revision of the IMO legislative instruments, including the COLREGs. This article discusses two approaches. The first approach (IMO) aims to maintain the COLREGs as the basis for collision avoidance. The second approach is based not on the Rules, but on an individualized assessment of the situation of the approach of ships. The first approach provides for the adjustment of COLREGs to each level of autonomous navigation, and the second is aimed at creating an automatic collision avoidance system, where knowledge and logic are presented as a program in a certain programming language. In the next decade, testing, approbation and selection of the best technologies for autonomous navigation will be carried out. The place of COLREGs in the realities of changing shipping will be finally indicated.

Keywords: principles and philosophy of COLREG, New COLREGs, autonomous navigation, levels of ship automation, system of rules, individualized approach, testing and approbation of technologies for autonomous navigation

Введение. Ровно десять лет назад была опубликована моя статья «Системы предупреждения столкновения судов, тенденции развития (К 40-летию МППСС-72)». За эти 10 лет произошли существенные изменения в области автоматизации техники, внедрения новых технологий, изменений в законодательстве, вносящих в явной или в неявной форме те или иные коррективы на процессы предупреждения столкновений судов в море. Однако проблема столкновений и гибели судов по-прежнему является актуальной. Полемика по этой проблеме идет со следующих позиций:

- принятия новых Правил предотвращения столкновений судов,
- изменение МППСС-72 к требованиям современного судоходства,
- оставить без изменения существующие МППСС-72.

Для принятия решения о том, нужно ли менять Правила или достаточно ли их корректуры для решения проблемы столкновения судов необходимо взвесить все «за» и «против» и только после этого принимать ту или иную позицию.

В начале становления мореплавания не было никаких правил. По мере роста количества судов для предупреждения столкновений потребовалась некая система управления и координирования действиями всех участников этого процесса. Исторически был выбран путь по управлению и координированию судами с

помощью Правил. Однако Правила это не система, а всего лишь часть структурированных, взаимосвязанных и подчиненных элементов единой цели - предупреждению столкновений судов.

Для анализа эффективности рассматриваемой системы необходимо рассмотреть ее параметры и показатели функционирования, а затем по результатам анализа принять решение о целесообразности принятия новых Правил или изменения алгоритмов Правил в зависимости от изменяющихся обстоятельств и условий среды.

Современная система для предупреждения столкновений судов это Человеко-Машинная система (ЧМС). В целом ее упрощенную структуру можно представить в виде замкнутой схемы, приведенной на рисунке 1. Основными элементами ее являются: судно (С), судоводитель (ООВ), датчики параметрической информации о состоянии судна и окружающей среды, \vec{z} - воздействие среды и других судов, входные $\vec{U}_{вх}$ и выходные $\vec{U}_{вых}$ параметры о состоянии судна, $\vec{U}_{ос}$ – сигнал обратной связи, ГДРУ – средства управления и сам объект управления - судно. Непременным атрибутом в этой системе являются правила - МППСС-72.

Эффективность существующей ЧМС можно оценить исследуя статистические данные по числу столкновений и гибели судов [1, 2] за последнее десятилетие (таблица 1).

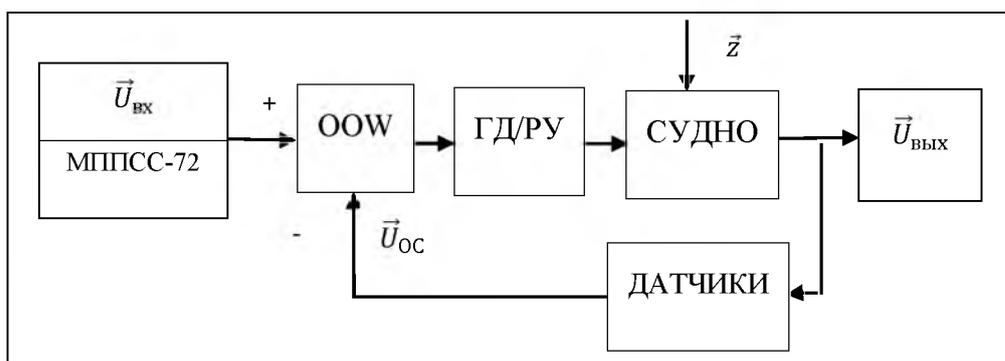


Рисунок 1 Современная структура ЧМС, основанная на Правилах предупреждения столкновений судов

Таблица 1 – Статистические данные аварий и гибели судов в результате столкновений

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
¹⁾ Japan-Marine Accident Risk and Safety Information System	325	356	282	246	264	265	244	217	200	243	218	191
²⁾ Allianz Global Corporate & Specialty		10	3	5	2	2	7	2	1	2	1	

¹⁾ Аварии судов в результате столкновений судов

²⁾ Гибель судов в результате столкновений

Исследуя статистические данные таблицы 1, можно сделать вывод о том, что за последнее десятилетие в рассматриваемой ЧМС сохраняется некоторый приемлемый баланс с тенденцией уменьшения количества аварий и гибели судов в результате столкновений. Судя по статистике, нет никакого смысла менять или вносить какие-либо изменения в МППСС-72. Однако при более глубоком изучении ЧМС становится очевидно, что система уже изменилась особенно в последние десятилетия в связи с внедрением новой техники и технологий. В последнее десятилетие ЧМС значительно пополнилась арсеналом ресурсов для обеспечения функций управления судном (АИС, ГЛОНАСС, ЭК и др.). С внедрением информационных технологий существенно изменился стиль и технология его управления. Сейчас судоводитель, оценивая состояние судна, в первую очередь, имеет дело не только с показаниями приборов, а с данными информационных, информационно-измерительных и экспертных систем, анализирует сообщения о состоянии судна, синтезирует их, и, наконец, принимает решения по выбору управления для предупреждения столкновений судов. Такой подход к управлению судном повлек за собой необходимость создания Автоматического рабочего места (АРМ) судоводителя. АРМ представляет собой совокупность (комплекс) математического, программного, информационного, аппаратного и методического обеспечения, предназначенного для автоматизации решения

многочисленных задач, в том числе и задач предупреждения столкновений судов. Для повышения эффективности уровня безопасности плавания ИМО разработало концепцию e-Навигации для поддержки и улучшения процесса принятия решений, с целью лучшего обмена информацией между судами, судном и берегом. Описанный подход строится на основе *Интегральной информационной модели* - общем, суммарном представлении (в том числе визуальном) о функционировании ЧМС. По-видимому, как раз внедрение новых технических средств судовождения и информационных технологий позволили поддерживать баланс и даже достигать стабильного тренда на уменьшение столкновений судов.

Актуальность проблемы столкновений судов. Если не поменялись философия, концепция и правила тогда какая же основная причина небезопасности при расхождении судов? Исследования навигационных аварий [3] UKMarineAccidentReportingScheme (MARS) отмечает, что 75% навигационных аварий происходят из-за невыполнения МППСС-72. Успех предупреждения столкновений судов заключается в правильно принятом решении в соответствии с МППСС-72. Действия судоводителя представляют собой ограниченный набор управляющих воздействий во времени. При этом важнейшим требованием к выполнимости Правил является *стабильность* кразовому воздействию. Нечеткий язык и универсальность МППСС-72 для любых

ситуаций плавания позволяют сохранять целостность ЧМС, ее терминологию и формулировки. Однако дифференцирующие мощности факторов, оказывающие влияние на процесс предупреждения столкновений и связывающие их силы, изменяются во времени под воздействием окружающей среды. Подобное влияние на свойство стабильности должно компенсироваться судоводителем, выполняющим роль адаптивного механизма. Адаптивные функции судоводителя заключаются в распознавании и подстройке ситуаций, процессов и явлений тем стандартным ситуациям, которые описаны в МППСС-72 и смогли бы гарантировать соблюдение Правил. Тогда почему же судоводитель иногда не справляется с адаптивными функциями распознавания, подстройки ситуаций и т.д.?

Предложения и аргументы по изменению МППСС-72. Есть те, кто считает, что ответ на этот важнейший вопрос кроется в самих Правилах предупреждения столкновений с предложением о необходимости пересмотра МППСС-72. Роджер Симс из Австралийского морского колледжа написал ряд статей о реформе МППСС-72. Критика МППСС-72 в российских изданиях в основном сосредоточена в [4]. Все аргументы по пересмотру МППСС-72 вращаются вокруг формы Правил, которую будут принимать предлагаемые новые ПРСМ (*Правила расхождения судов в море*) без изменения «концепции и философии» МППСС-72.

Приведу некоторые аргументы сторонников новых МППСС. Первый аргумент о том, что *правила недостаточно поняты, что судоводитель может по незнанию или из-за языковых затруднений быть неспособным полностью понять правила в их нынешнем виде.* Довольно широкое исследование [5] проводилось по европейской программе «Леонардо да Винчи». В котором участвовали морские учебные заведения из Великобритании, Испании, Словении, Болгарии и Турции. Целью этого исследования было выявление пробелов в знаниях и обучении МППСС-72 для студентов и офицеров судов. Результаты показали, что студенты / курсанты, а также лицензированные вахтенные помощники, как правило, не имеют полного и правильного понимания Правил. В исследовании рассматривались разные методы обучения и все эти методы показали одни и те же недостатки.

Современный «гуманитарный» подход при изучении нечеткостей МППСС-72 рекомендуется получать судоводителям по толкованиям и комментариям [6, 7, 8, 9] с целью «лучше разобраться

в Правилах путем объяснения их смысла». Однако последнее издание, например, [6] вышло в 1990 году. Поэтому толкования и комментарии, можно сказать, уже устарели. Но отменять их тоже нельзя. Кроме комментариев нет литературы, которая бы смогла хоть как-то продемонстрировать логику нечетких Правил плавания и маневрирования. Следовательно, нужно менять подходы в обучении. Переходить от «гуманитарного» к «инженерному» изучению МППСС-72 на основе математической теории нечетких множеств, лежащей в основе Правил и используемой при описании ситуаций встречи судов и назначении действий судоводителя. Приобретенные знания по теории нечетких множеств расставят все на свои места. В этой связи не потребуются «шлифовать терминологию МППСС-72», как это предлагается в ПРСМ.

Критически можно отнестись к предложению в ПРСМ «не ограничивать скорость судна», т.е. изъять термины «безопасная скорость» и «ограниченная видимость». Вот здесь как раз нарушается основной принцип МППСС-72 – «не пренебрегать любой осторожностью». Эти предложения не подходят для ЧМС. Сближение судов происходит в режиме реального времени за ограниченный промежуток времени. И так как решение в ЧМС принимает судоводитель, то лучшее решение принимается на основании всей полноты многопараметрической нечеткой ситуации сближения судов (с учетом всех «обстоятельств и условий плавания»). И чем ситуация сложнее, тем больше времени нужно судоводителю для принятия решения. И если этого времени недостаточно, то последствия необдуманных решений не заставят себя ждать.

Другой аргумент – «правила написаны слишком техническим языком». Хочу разубедить - язык не является слишком техническим или непонятным особенно для современного судоводителя, который знаком и использует терминологию технических средств судовождения и терминологию МППСС-72 на регулярной основе. Верно, что изменения и внедрение новых технологий заставят время от времени вносить некоторые изменения или полностью пересматривать Правила. Это подтверждается переходом от ППС-60 к МППСС-72, когда установка радаров на судах, а также принятие схем разделения движения судов потребовали изменения Правил. Однако на данном этапе нет необходимости в полномасштабной переработке Правил, не имея технологии, которая бы существенным образом заставила бы внести те

или иные изменения в МППСС-72. Следовательно, фактически ЧМС по предупреждению столкновений (рисунок 1), хотя и изменена с учетом технологических и технических достижений применяемых при отображении, взаимообмене и управлении информацией, но эти изменения не вносят какой-либо корректуры в МППСС-72 и соответствуют требованию при определении наличия опасности столкновения - использовать «все имеющиеся средства».

Еще один аргумент состоит в том, что существует слишком много «размытых или косвенных правил». В качестве конкретного примера приводится пример того, что теперь при применении правил необходимо учитывать экологическое бедствие, а также защиту жизни и имущества. Это самый надуманный аргумент из всех. Правила столкновения были сформулированы для предотвращения столкновений. Вопросы перевозки определенных грузов, а также действия или мероприятия по ликвидации загрязнений, которые необходимо предпринять в случае столкновения, не регулируются Правилами столкновения, а, скорее, охватываются многими другими конвенциями и соглашениями по конкретным вопросам.

Следующий аргумент — это убеждение, что «МППСС-72 не формализуемы». Якобы на их базе «невозможно создать компьютерные программы, позволяющие разработать автоматическую систему, надежно заменяющую человека при опасном расхождении судов в море». Однако это не так. Можно привести огромный список успешных работ по формализации лингвистических переменных МППСС-72, как отечественных, так и зарубежных авторов. Например, работы [10-18] — это лишь малая часть из них. А проект, апробированный Проект Rolls Royce MAXCMAS (Machine Executable Collision Rules для морских автономных систем) [19] позволяет навигационной системе на основе искусственного интеллекта эффективно применять МППСС-72.

Конечно, ни одно правило не является идеальным, и поэтому всегда есть возможности для его улучшения, но нужно всегда действовать с осмотрительностью. Я не согласен со всеми приведенными выше аргументами для смены МППСС-72 на том основании, что они якобы не принимают во внимание реалии современного судостроения. Предлагаемые ПРСМ — попытка приукрасить реальные трудности в большинстве столкновений, которые происходят во всем мире. Приведенные аргументы по замене МППСС-72 на новые ПРСМ, по сути, не будут способствовать сокращению количества столкновений. Многие

из аварий происходят не из-за усталости или путаницы с языком и инструкциями, а, скорее, из-за отсутствия надлежащего наблюдения (70%), игнорирования правил (50%), превышения скорости и неверного маневрирования.

Изменения в МППСС-72 неизбежны, но не по указанным выше причинам. Слабым звеном в ЧМС при выработке решений в современных условиях остается человек. Не МППСС-72, а судоводитель причина аварий и гибели судов вследствие их столкновений.

Методы решения проблемы столкновений судов. Бесспорно, что, если рассматривать проблему предупреждения столкновений судов с инженерных позиций, то одним из способов повышения эффективности принимаемых решений судоводителем, является разработка и внедрение технологий поддержки принятия решений при управлении ЧМС, основанных на использовании интеграции искусственного и естественного интеллекта (СППР)[20].

Параллельно с разработкой СППР за последнее десятилетие значительно увеличилось количество исследований в области автономных судов (MASS) [21]. Было запущено несколько проектов по изучению возможности их создания. Среди этих проектов - проект MUNIN [22], проект AAWA [23], демонстратор YARA Birkeland [24], концепция REVOLT [25] и проект Design For Value (D4V) [26].

Оба эти направления признаны перспективными для целей повышения безопасности, решения проблем нехватки кадров, улучшения экономических и экологических показателей.

В арсенале современного научного знания имеется достаточно развитый инструментарий включающий в себя развитый математический аппарат и современные возможности вычислительной техники, которые могут повысить эффективность путем автоматической выработки решений. В MASS применение СППР, основанных на использовании интеграции искусственного и естественного интеллекта, может быть целесообразным уже на нынешнем этапе развития технологий, а ее комплексное использование будет ощутимо повышать эффективность и безопасность для предупреждения столкновений судов.

Упрощенная структурная схема MASS с одноконтурной автоматизированной ЧМС для предупреждения столкновений судов Автоматизированной системы управления (АСУ), Системой поддержки принятия решений (СППР) и элементом сравнения (ЭС) показан на рисунке 2.

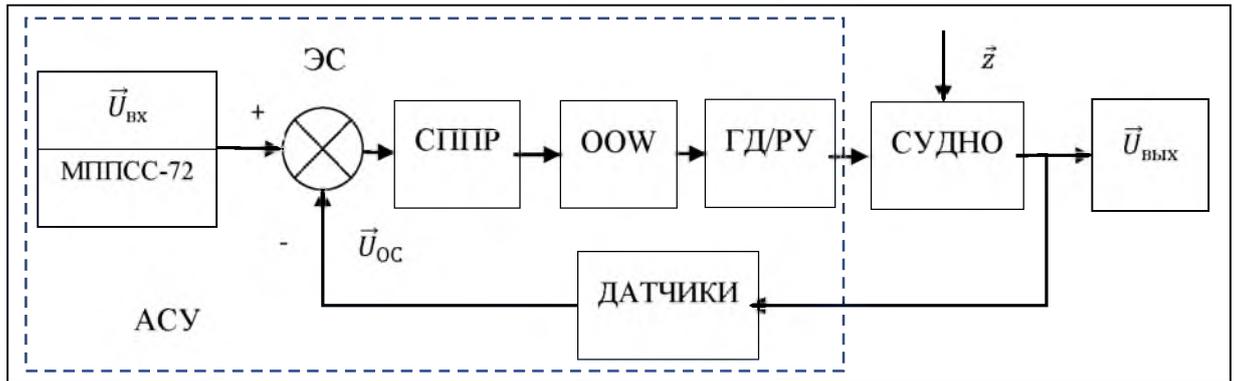


Рисунок 2 - Структурная схема одноконтурной автоматизированной ЧМС для предупреждения столкновений судов с Системой поддержки принятия решений

Другой вариант MASS – это дистанционное управление судами на берегу. Создаётся Центр дистанционного управления судном (судами) (ЦДУ) – место, отличное от борта управляемого судна, с которого возможно проводить мониторинг и управление состоянием MASS человеком-

оператором (О) с передачей, получением информации и управляющих сигналов с использованием средств связи (ПЕР-ПР). Такая структура позволит размещать практически неограниченные по объему вычислительные мощности СППР в ЦДУ (рисунок 3) и в кратчайшее время предоставлять решение оператору.

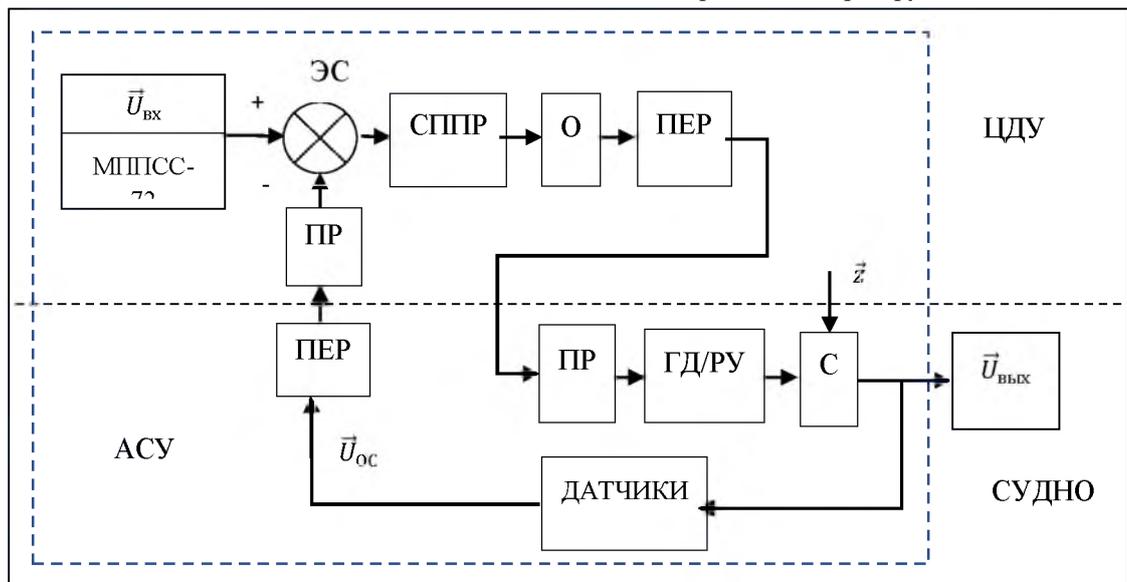


Рисунок 3 - Структурная схема одноконтурной автоматизированной дистанционной ЧМС для предупреждения столкновений судов с Системой поддержки принятия решений

Проблемность законодательных инструментов ИМО в автономном судовождении. Нет сомнений в том, что автономные суда приведут к огромным изменениям в судоходной отрасли. Идея автономных судов вызывает много вопросов. Как будут работать автономные суда? Кого винить в аварии? Как автономные суда должны взаимодействовать и согласовывать свои действия для предупреждения столкновений [27], какова роль МППСС-72 в этом процессе?

Чтобы ответить на эти вопросы и иметь возможность решить, можно ли использовать МППСС-72 в автономном судоходстве, нужно хорошо знать, как должны работать автономные суда. Ожидается, что автономные суда смогут

плавать с различными уровнями автономии (degrees of autonomy) (DoA) во время определенного морского перехода. В зависимости от потребностей, обстоятельств и условий плавания или фазы рейса степень автономности может быть изменена (повышена или понижена) в связи с наступлением определенных условий.

В этом вопросе Международная морская организация (ИМО) должна быть ведущей организацией в определении различных сфер автономности и соответствующей терминологии на море и обеспечить, чтобы нормативная база MASS соответствовала быстро развивающимся технологическим разработкам. Комитет по без-

опасности на море (MSC), 100-я сессия, 3-7 декабря 2018 г. [28] для целей MASS определил следующие степени автономности (DoA):

- **Первая: судно с автоматизированными процессами и поддержкой принятия решений:** моряки находятся на борту для эксплуатации и управления судовыми системами и функциями. Некоторые операции могут быть автоматизированы и иногда осуществляться без присмотра, но с моряками на борту, готовыми взять под свой контроль.

- **Вторая: дистанционно управляемое судно с моряками на борту:** судно управляется и может управляться с берега. Моряки доступны на борту, чтобы взять на себя контроль и управлять судовыми системами и функциями.

- **Третья: дистанционно управляемое судно без моряков на борту:** судно управляется и может управляться с берега. На борту нет моряков.

- **Четвертая: полностью автономное судно:** судовая операционная система способна принимать решения и определять действия самостоятельно.

Недавно ИМО завершила нормативную оценку морских автономных надводных судов (regulatory scoring exercise) (RSE) [29], которая была разработана для оценки существующих инструментов ИМО, чтобы уяснить, как они могут применяться к судам с различной степенью автоматизации. Нормативная оценка RSE была завершена на 103-й сессии MSC в мае 2021 года [30]. В ходе RSE комитет по безопасности пришел к выводу, что следующие инструменты ИМО, относящиеся к сфере компетенции MSC были отнесены к категории «высокоприоритетных»: Главы II-1, II-2, III, IV, V, VI, VII, IX, XI-1 и XI-2 Конвенции СОЛАС; МППСС-72; Конвенция и Кодекс ПДНВ; Конвенция STCW-F; Конвенция LL 1966 года и Протокол 1988 года к ней; и др.

В соответствии с выводом RSE о наиболее подходящих способах решения проблемы пробельности существующих инструментов ИМО, было предложено устранить проблему пробельности комплексно с помощью нового инструмента - Кодекса MASS ("Mass Code"). Такой документ мог бы принять форму, отражающую: цель (цели), функциональные требования и правила, подходящие для всех четырех степеней автономности с учетом различных пробелов, выявленных RSE. Рассмотрение каждого законодательного инструмента или его главы по отдельности может привести к несоответствиям, путанице

и встретить потенциальные препятствия для применения существующих правил к обычным судам (нулевой степенью автономности). Таким образом, вместо внесения поправок в отдельные инструменты предложено рассмотреть Кодекс MASS, который будет являться способом внесения поправок в существующие конвенции ИМО.

В частности, проверку на соответствие МППСС-72 целям будущего Кодекса MASS было поручено делегациям Маршалловых островов, Китая Сингапура, Швеции, США и Японии. Судя по сделанным выводам делегаций (Приложение 2) MSC.1/Circ.1638 [31], можно отразить следующие рекомендации по устранению пробелов при применении МППСС-72 при разных уровнях автоматизации судна в таблице 2.

Проблемы использования МППСС-72 в автономном судовождении. ИМО в [31] предлагает в качестве основы для предупреждения столкновений оставить МППСС-72, которые по-прежнему должны являться ориентиром и должны сохранить как можно большую часть своего текущего содержания. Во всех структурах MASS управление для любых DoA судами координируется МППСС-72 путем назначения управления, т.е. путем мета-управления, предусматривающего: согласования целей управления; создания управлений благоприятных для достижения целей обоих судов; координированием в ситуации встречи двух судов. Остаются две независимые системы координации взаимодействующих судов: для хорошей и ограниченной видимости.

Оставляя МППСС-72 в качестве ориентира, к которому необходимо стремиться при координировании и управлении судами, возникает вопрос о поправках и применимости МППСС-72 для MASS. Здесь есть ряд существенных замечаний, требующих их разрешения. Автономные суда нигде не упоминаются в МППСС-72 или в каких-либо других международных кодексах и конвенциях. Автономные суда будут работать в тех же водах, что и суда с экипажем на борту и должны также следовать МППСС-72. MASS будут иметь те же обязанности, что и морские суда с экипажем. В этом случае автономное судно на ходу должно будет рассматриваться как судно с «механическим двигателем на ходу». Согласно правилу 2 *Ответственность*, судоводитель всегда должен соблюдать правила и действовать с осторожностью, если этого требует «обычная морская практика», которая трактуется как нормальное поведение судоводителя в тех или иных «обстоятельствах и условиях плавания» и определяется опытом, знаниями и восприятием ситуации. Во избежание непосредственной опасности

судоводитель может отступить от выполнения МППСС-72. Следует отметить, что отступления от правил допускаются только при особых обстоятельствах. Судоводитель может даже быть признан виновным в пренебрежении «обычной практикой», если отступление от правил считалось необходимым. Столь расплывчатое понятие, как «обычная морская практика» может быть трудно

определено и смоделировано на компьютере. Это самая большая проблема МППСС-72. Правила предназначены для интерпретации человеком, и поэтому их трудно соблюдать в сложных ситуациях. Большим препятствием является то, что не всегда существует четкая реакция типа «да или нет» на каждую ситуацию, а это непростая задача для обучения компьютера.

Таблица 2 – Применимость МППСС-72 при разных уровнях автоматизации судна

Уровень автоматизации	Наиболее подходящие способы устранения пробелов	Возможные пробелы, требующие устранения
I	Некоторые способы несения вахты на мостике и другие операции на борту судна MASS приведут к искажениям или неясности в МППСС-72. Ожидается, что первая степень будет наименее разрушительной. Команда мостика получит эквивалентные формулировки или будут разработаны соответствующие комментарии, толкования, которые будут действовать как лучшее средство для решения пробельности в этой степени автоматизации.	Терминология, огни, знаки и звуковые сигналы, роль капитана
II	Некоторые способы несения вахты на мостике и другие операции на борту судна MASS приведут к искажениям или неясности в МППСС-72. Вторая степень будет служить промежуточным звеном между первой и третьей степенью и приведет к тому, что контроль за судном может быть перенесен в удаленное место, в результате чего будут применены либо эквивалентности, либо интерпретации, а также внесены поправки в МППСС-72, что позволит устранить искажения, вызванные этой степенью автоматизации.	Терминология, огни, знаки и звуковые сигналы, роль капитана, ответственность удаленного оператора
III	Степень три представляет собой самые большие изменения в судоходстве и потребует внесения необходимых поправок в МППСС-72, чтобы соответствовать будущим автономным перевозкам без моряков на борту, что приведет к значительному снижению уровня человеческого воздействия. Однако МППСС-72 в его нынешнем виде по-прежнему является ориентиром и должны сохранить как можно больше свое текущее содержание.	Терминология, огни, знаки и звуковые сигналы, роль капитана, ответственность удаленного оператора, сигналы бедствия
IV	Четвертая степень представляет собой наиболее перспективную концепцию судоходства и потребует необходимых поправок к МППСС-72 с целью согласования действий между судами в будущем автономном судоходстве. МППСС-72 в его нынешней форме по-прежнему является ориентиром и должны сохранить как можно большую часть своего текущего содержания.	Терминология, огни, знаки и звуковые сигналы, роль капитана, ответственность удаленного оператора, сигналы бедствия

Ответственность в случае столкновения MASS - одна из самых больших нерешенных проблем с автономными судами. «С точки зрения ответственности, самая большая проблема будет касаться присвоения существующих обязанностей капитана судна соответствующим и адекватным лицам, участвующим в эксплуатации автономным судном» (MUNIN, 2016).

Наибольшие проблемы будут существовать с поправками или даже невозможностью применения алгоритмов МППСС-72, в которых используются огни, знаки, звуковые и световые сигналы. Например, основным критерием по Правилу 17 Действия судна, которому уступают дорогу для наступления «маневра последнего момента» является сближение судов на расстояние дальности слышимости звукового и светового сигнала. Это расстояние, по Правилу 17, соответствует термину - «настолько близко к другому судну», когда привилегированное судно должно предпринять действие для избежания столкновения. На судне без экипажа невозможно будет ни

слышать, ни визуально наблюдать. Значит MASS должны иметь равноценные технические системы способные вести визуальное и слуховое наблюдение. Большой вопрос заключается в том, можно ли считать наблюдение на судне без экипажа надлежащим и могут ли технические системы адекватно заменять человеческие глаза и уши. Проблему предлагается решать тепловизионными камерами и камерами высокой четкости в сочетании с радаром или лидарами. Камеры и датчики дальнего действия успешно применяются при поиске и спасении на море. Их использование может позволить береговому оператору обнаруживать объекты даже лучше, чем реальный человеческий глаз. Однако некоторые из этих датчиков и камер являются новыми для морской отрасли и их необходимо тестировать в течение более длительного периода времени, чтобы доказать их надежность. Наряду с вопросом ответственности, это один из наиболее обсуждаемых вопросов, касающихся MASS и МППСС-72.

Правила 11–18 раздела II применяются к судам, находящимся на виду друг у друга. Согласно общим определениям (Правило 3), суда считаются находящимися на виду друг друга только тогда, когда они могут наблюдать друг за другом визуально. Возникает тот же вопрос, что и в правиле 5 *Наблюдение*: являются ли высокотехнологичные камеры адекватной заменой визуального наблюдения? А если нет? Означает ли это, что каждое автономное судно должно рассматриваться при плавании в ограниченную видимость, раздела III *Плавание судов при ограниченной видимости*?

Раздел III состоит только из правила 19 - *Плавание судов в условиях ограниченной видимости*. Правило 19 применяется к судам, которые не находятся на виду друг у друга в зоне ограниченной видимости. Термин «ограниченная видимость» определяется в *Правиле 3 Определения* как любое состояние, при котором видимость ограничена из-за тумана, тумана, снега, ливня, песчаных бурь или других причин. Одним из надежных способов проверки видимости является измерение расстояния на экране радара до объекта, когда объект становится видимым невооруженным глазом. Определить видимость таким способом на судне без экипажа невозможно поскольку судно будет эксплуатироваться с берега дистанционно. Проблема наблюдения может быть решена с помощью подходящей автоматизированной системы (компьютерное зрение, интегрированное со звуком, радаром и АИС), по крайней мере, с таким же качеством, как и наблюдение человека. При необходимости это может поддерживаться береговым центром управления. Современные сенсорные системы даже лучше, чем человеческие чувства, и они могут быть более подходящими для выполнения задач наблюдения, поскольку они не отвлекаются на посторонние вещи. Например, с помощью инфракрасных камер можно добиться гораздо лучшего зрения ночью.

Отвечая на поставленный вопрос, в начале статьи: когда потребуется корректура МППСС-72? Можно ответить, что если удастся создать MASS, способное управлять и вести себя как морское судно с экипажем, то в МППСС-72 не так много нужно менять, а потребуется их адаптация и уточнение существующих правил. В МППСС-72 нет ничего, что полностью противоречило бы MASS, но проблема в том, что МППСС-72 предназначены для судов с экипажем на борту и такие понятия, как например, наблюдение, обычная морская практика или ответственность экипажа, остаются неясными для автономного судна.

Результаты апробирования МППСС-72 в проекте MAXCMAS. Автономные суда были испытаны в нескольких проектах [32 - 33], где они смогли соблюдать Правила столкновения и безопасно перемещаться без аварий. Различные исследования, проведенные в течение последних 12–18 месяцев продемонстрировали, что автономные суда могут соответствовать МППСС-72. Проект Rolls Royce MAXCMAS (Machine Executable Collision Rules для морских автономных систем) [19] в сотрудничестве с Lloyd's Register утверждает, что разработал алгоритм, позволяющий навигационной системе на основе искусственного интеллекта эффективно применять МППСС-72. «Неотлично от хорошего поведения моряка» даже в обстоятельствах, «когда судно, уступающее дорогу, не предпринимает надлежащих действий». Проект MAXCMAS завершен. Технология и система были тщательно протестированы как в море, так и во множестве сценариев с использованием настольных симуляторов и навигационных мостиков, чтобы продемонстрировать надежность применения алгоритмов и доказать, что автономная навигация может соответствовать существующим требованиям МППСС-72.

Переход к автоматическому управлению судами. На рисунках 1-3 были предложены структурные схемы АСУ, с различной степенью автоматизации (I, II, III). Все эти системы структурно сохраняют основные элементы: судоводитель-судно-окружающая среда с целью предупреждения столкновений судов. В каждой из них изменяется лишь эффективность принимаемых решений. Для этого применяются современные методы и технологии обработки информации и выработки решений для предупреждения столкновений судов.

В отличие от АСУ, Автоматическая система (САУ) все решения принимает сама, без участия человека. Это максимальный (IV) уровень автоматизации процесса судовождения по градации ИМО [28].

Основная проблема создания САУ заключается в том, что САУ должна решать задачи не только задачи предупреждения столкновений судов, но обеспечивать комплексную безопасность всех судов, распределенных в некотором географическом районе. Структура САУ изменяется во времени по количеству, входящих в состав и взаимодействующих судов, по степени воздействия среды, по неопределенности ограничений и подцелей системы. Деятельность судов, распределенных в некотором районе, может осуществ-

ляться в двух основных режимах: функционирование и развитие (эволюция). При функционировании безопасность судна обеспечивается регулированием, коррекцией управляющих параметров за наблюдениями поведением подсистем с целью возвращения их в нужное состояние. При развитии - под воздействием процессов, вызванных внешней средой и распределенностью системы – изменением подцелей и ограничений. Очевидно, что безопасность всех судов может быть обеспечена при надлежащем функционировании САУ, способной распознавать текущие/целевые ситуации и обеспечивать перевод судна из опасных ситуаций в безопасные.

Для проектирования САУ, обладающих такими способностями, требуется формализация и осуществление синтеза. В данном случае, синтез можно трактовать как объектно-ориентированную задачу, сводящуюся к такому построению, при котором обеспечивается разрешение конфликтов между различными уровнями иерархии в организации распределенного управления на основе субъективных представлений о ситуации выбора, структуры предпочтений и поведения судов при решении комплексной задачи безопасности. Отсюда возникает проблема принятия распределенных решений. Решению проблемы способствуют декомпозиция и итерационный синтез одновременного протекания параллельно-последовательной совокупности согласованных решений во внутренней и внешней структуре САУ. В данном случае, итерационный синтез решений для обеспечения комплексной безопасности заключается в рассмотрении взаимного влияния множества судов, основанных на кооперативных процессах самоорганизации. Для применения указанного подхода, требуется перейти к построению взаимосогласованного целенаправленного управления судами для обеспечения заданных свойств внутренней и внешней безопасности всей системы.

Альтернативные подходы решения проблемы скоординированного движения судов. При решении задач предупреждения столкновений судов роль координатора выполняют МППСС-72. Однако МППСС-72 не решают ряд задач расхождения судов. Сгладить эти пробелы должен судоводитель исходя из опыта хорошей морской практики. Однако это ему не всегда удается сделать.

САУ не должна иметь таких недостатков. Следовательно, нужно искать другие подходы отличные от правил координации, предписанной в

МППСС-72. Например, в [34] можно найти альтернативные методы, основанные не на Правилах, а на индивидуализированной оценке ситуации сближения судов с выработкой решения по расхождению в распределенной системе коллективного управления на принципах: целесообразности, оптимальности, кооперации и т.д.

Обычно, для решения задачи расхождения судов необходимо получить траекторию движения и согласовать ее с траекториями других судов. Результатом таких методов, как искусственное потенциальное поле [35-36], алгоритм A* [37-38], эволюционный алгоритм [39] или оптимизация муравьиной колонии [40, 41, 42] и др., является расчетная траектория. Методы позволяют на стадии глобального планирования строить предварительный маршрут движения, а затем на стадии локального планирования его динамически корректировать в режиме реального времени путем изменения весовых функций различных параметров оптимизации. Эти методы вполне применимы для создания компьютерных программ по нахождению оптимального пути расхождения судов.

Согласование траекторий осуществляется посредством *переговоров*. Протокол взаимодействия группы судов определяет схему (распределенный алгоритм) [43, 44], по которой ведутся такие переговоры.

При применении этих методов в MASS с DoA(IV), меняется полностью концепция и философия решения задач процесса предупреждения столкновений судов. Управляющим устройством в такой автоматической системе навигации является Эволюционный навигатор (EN), представляющий собой систему алгоритмов в структуре **Системы автоматического управления планированием пути (САУ ПП)** (рисунок 4).

Первая часть алгоритмов (автономный планировщик) ищет оптимальный глобальный путь от начальной точки до пункта назначения, в то время как вторая часть алгоритмов (онлайн планировщик) отвечает за обработку возможных столкновений судов или обход ранее неизвестных объектов путем замены части спланированного глобально-оптимального пути на вспомогательный путь.

Выводы. Итак, на данном этапе нет необходимости в полномасштабной переработке Правил, не имея технологии, которая бы существенным образом заставила бы внести те или иные изменения в МППСС-72.

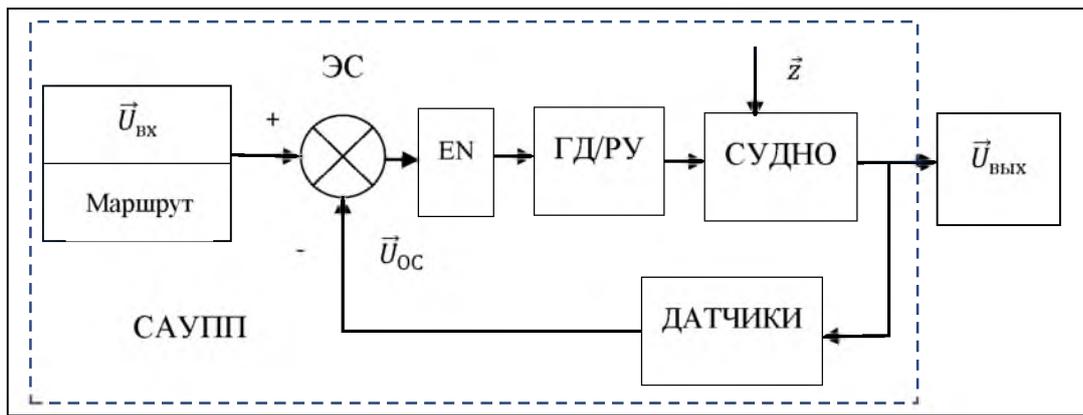


Рисунок 4 - Структурная схема одноконтурной автоматической Системы планирования пути

Изменения, а также корректура в МППСС-72 и в других инструментах ИМО потребуются в случае внедрения СППР и автономного судовождения. Ориентиром для применения в MASSIMO избрало МППСС-72. Соблюдение МППСС-72 не кажется большой проблемой для MASS с DoA (I, II и III). В МППСС-72 нет ничего, что полностью противоречило бы автономному судовождению, но проблема в том, что МППСС-72 написаны для судов с экипажами, и некоторые положения, такие как наблюдение или ответственность, огни, знаки или звуковые сигналы остаются неясными для автономного судна. В МППСС-72 также есть некоторые правила, которые оставляют место для интерпретации, а некоторые решения должны основываться на человеческом суждении, чему сложно обучить компьютер.

Для достижения MASS с DoA (IV) требуется итерационный синтез решений всех судов, распределенных в некотором географическом районе для обеспечения комплексной безопасности основанной на кооперативных процессах самоорганизации. Для применения указанного подхода, потребуется перейти к построению взаимосогласованного целенаправленного управления судами для обеспечения заданных свойств внутренней и внешней безопасности всех судов. Где знания и логика представлены в виде программы на некотором языке программирования, а не в виде множества Правил предупреждения столкновений судов в море. Такая технология способна полностью изменить философию и концепцию процесса предупреждения столкновения судов, а значит потребуются альтернативные методы и решения.

Безусловно, технологии автоматизации и искусственного интеллекта в скором времени займут достойное место на судах. По оценке Rolls Royce первые автономные суда появятся в 2025 году. Далее развитие MASS будет сосредоточено уже не на поиске интеллектуальных технологий,

а на тестировании и апробации лучших технологий, в том числе и альтернативных, для автономного судовождения. А время покажет: сохранятся ли принципы МППСС-72 в автономном судовождении или система предупреждения столкновений судов будет строиться совершенно на другой философии и принципах в следующем десятилетии.

Литература:

1. Japan-Marine Accident Risk and Safety Information System https://www.mlit.go.jp/jtsb/statistics_mar.html#p01
2. Annual overview of marine casualties and incidents 2020. European Maritime Safety Agency, 2020. 147 p.
3. Baillod, F. Collisions - Why do they occur / Cap. Francois Baillod the initiator of the UK Marine Accident Reporting Scheme (MARS) // Gard News. London.: The Nautical Institute (United Kingdom) - 2004. - № 173. - С 17-21.
4. Найденов, Е.В. Проект Новых МППСС / Е.В. Найденов // Морские вести России. - 2020. - №14
5. Mohovic, D Deficiencies in dearning COLREGS and new teaching methodology for nautical engineering students and seafarers in lifelong learning programs / DjaniMohovic, Robert Mohovic, Mate Baric// THE JOURNAL OF NAVIGATION - 2016, 69, P. 765-776
6. Яскевич, А. П. Комментарии к МППСС-72 / А. П. Яскевич, Ю. Г. Зурабов. - М.: Транспорт, 1990. - 479 с.
7. Юдович, А. Б. Предотвращение навигационных аварий морских судов / А. Б. Юдович. - М.: Транспорт, 1988. - 224 с. ISBN 5-277-00172-7.
8. Кейхилл, Р. А. Столкновение судов и их причины / Р.А. Кейхилл; пер. с англ. - М.: Транспорт, 1987. - 240 с.
9. Коккрофт, А. Н. Толкование МППСС-72 / А. Н. Коккрофт, Д. Н. Ламейер./ пер. с англ. - М.: Транспорт, 1981. - 279 с.
10. Tam, Ch. K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch. K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // J. of Navigation. — 2009. — Vol. 62. — № 3. — P. 455-471.

11. Гриняк, В. М. Прогнозирование опасных ситуаций при управлении движением на море / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2004. — № 3. — С. 127-136.
12. Гриняк, В. М. Нечеткое сопровождение траектории движения судна / В. М. Гриняк, М. В. Трофимов // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 1. — С. 119-124.
13. Коноплев, М. А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения / М. А. Коноплев // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 2. — С. 34-39.
14. Takagi, T. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1985. Vol. 15. P. 116-132.
15. Леоненков, А.Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzy Tech / Леоненков А.Ю. — СПб.: БХВ, 2003 — 720 с.
16. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С.Д. Штовба. — М.: Горячая линия. — 288 с.
17. Chen P, Huang Y, Mou J, van Gelder PHAJM. Probabilistic risk analysis for ships collision: State-of-the-art. Safety Science 2019; 117:108–22. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.014>.
18. Tam C, Bucknall R, Greig A. Review of Collision Avoidance and Path Planning Methods for Ships in Close Range Encounters. Journal of Navigation 2009;62: 455–76. <https://doi.org/10.1017/S0373463308005134>.
19. MAXCMAS success suggests COLREGs remain relevant for autonomous ships Available online: <https://rolls-royce.com/media/press-releases/2018/21-03-2018-maxcmas-success-suggests-colregs-remain-relevant-for-autonomous-ships.aspx>
20. Симанков, В.С. Основные методологические аспекты организации и функционирования систем поддержки принятия решений безопасности судовождения / В.С. Симанков, В. В. Астреин // Эксплуатация морского транспорта. — 2016. — № 2(79) — С. 56-64.
21. Statheros T, Howells G, Maier KM. Autonomous Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques. Journal of Navigation 2008; 61:129–42. <https://doi.org/10.1017/S037346330700447X>.
22. MUNIN. Research in maritime autonomous systems project results and technology potentials. 2016.
23. Rolls-Royce. Autonomous ships. London: The next step; 2016.
24. Kongsberg. Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland 2017
25. Tvete, H.A. The ReVolt - a new inspirational ship concept 2015. <https://www.dnvgl.com/technology-innovation/revolt/index.html> (accessed May 26, 2020).
26. DIMECC. D4V – design for value program report. Tampere, Finland: DIMECC Oy; 2018.
27. Jennie Sehee Ham The law of illegality and trusts: A new mess for the old one/ Legal research and development: Southampton student law review // 2019, Vol. 9, Issue 1, P. 34-40
28. Maritime Safety Committee (MSC), 100th session, 3-7 December 2018 <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-100th-session.aspx>
29. IMO. LEG 106/8/1 - Regulatory scoping exercise and gap analysis of conventions emanating from the legal committee with respect to Maritime Autonomous Surface Ships (MASS): Outcomes of MSC 99 and MSC 100 regarding MASS. 2019
30. IMO.MSC.1/Circ.1640 on Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)
31. IMO.MSC.1/Circ.1638 3 June 2021
32. First Test Area for Autonomous Ships Opened in Finland. Available online: <https://worldmaritimeneews.com/archives/227275/first-test-area-for-autonomous-ships-opened-in-finland/> (accessed on 11 July 2019).
33. First Unmanned Vessel Joins UK Ship Register. Available online: <https://worldmaritimeneews.com/archives/235207/first-unmanned-vessel-joins-uk-ship-register/> (accessed on 2 December 2019).
34. Астреин В.В. Принципы поиска лучшего решения в задачах предупреждения столкновения судов / В.В.Астреин // В мире научных открытий № 6(42), Красноярск: Издательство «Научно-инновационный центр», 2013.
35. Лю В. Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор). //Математика и математическое моделирование.— 2018.— (1).— 15-58. <https://doi.org/10.24108/mathm.0118.0000098>
36. Lazarowska, A. A Discrete Artificial Potential Field for Ship Trajectory Planning. Journal of Navigation 2019;1–19. <https://doi.org/10.1017/S0373463319000468>.
37. Lyu H, Yin Y. COLREGS-Constrained Real-time Path Planning for Autonomous Ships Using Modified Artificial Potential Fields. Journal of Navigation 2019;72: 588–608. <https://doi.org/10.1017/S0373463318000796>.
38. Xie L, Xue S, Zhang J, Zhang M, Tian W, Haugen S. A path planning approach based on multi-direction A* algorithm for ships navigating within wind farm waters. Ocean Engineering 2019;184:311–22. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.04.055>.
39. Singh Y, Sharma S, Sutton R, Hatton D, Khan A. A constrained A* approach towards optimal path planning for an unmanned surface vehicle in a maritime environment containing dynamic obstacles and ocean currents. Ocean Engineering 2018; 169: 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.016>.

40. Szlapczynski R, Szlapczynska J. On evolutionary computing in multi-ship trajectory planning. *Applied Intelligence* 2012;37:155–74. <https://doi.org/10.1007/s10489-011-0319-7>.
41. Lazarowska A. A new deterministic approach in a decision support system for ship's trajectory planning. *Expert Systems with Applications* 2017;71:469–78. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.11.005>.
42. Wang H, Guo F, Yao H, He S, Xu X. Collision Avoidance Planning Method of USV Based on Improved Ant Colony Optimization Algorithm. *IEEE Access* 2019;7: 52964–75. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907783>.
43. Астреин, В.В. Процедура и схема согласования действий группы судов для предупреждения столкновений / В.В. Астреин // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 1(83).
44. Астреин, В.В. Формализация правил голосования для предупреждения столкновений судов / В.В. Астреин, Л. Б. Астреина // Эксплуатация морского транспорта. – 2018. – №3. – С.33-36.
11. Grinyak, V. M. Prognozirovanie opasnyh situacij pri upravlenii dvizheniem na more / V. M. Grinyak, A. S. Devyatisil'nyj // *Izv. RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*. — 2004. — № 3. — S. 127 — 136.
12. Grinyak, V. M. Nechetkoe soprovozhdenie traektorii dvizheniya sudna / V. M. Grinyak, M. V. Trofimov // *ZHurnal universiteta vodnyh kommunikacij*. — 2012. — № 1. — S. 119-124.
13. Konoplev, M. A. Primenenie apparata nechetkoj logiki dlya opredeleniya urovnya opasnosti stolknoveniya / M. A. Konoplev // *Ekspluatatsiya morskogo transporta*. — 2009. — № 2. — S. 34-39.
14. Takagi, T. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1985. Vol. 15. P. 116—132.
15. Leonenkov, A.YU. Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTech / Leonenkov A.YU. – S-Pb.: BHV, 2003 – 720 s.
16. SHtovba, S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MatLab / SHtovba S.D. – M.: Goryachaya liniya. – 288 s.
17. Chen P, Huang Y, Mou J, van Gelder PHAJM. Probabilistic risk analysis for ships collision: State-of-the-art. *Safety Science* 2019; 117:108–22. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.014>.
18. Tam C, Bucknall R, Greig A. Review of Collision Avoidance and Path Planning Methods for Ships in Close Range Encounters. *Journal of Navigation* 2009;62: 455–76. <https://doi.org/10.1017/S0373463308005134>.
19. MAXCMAS success suggests COLREGs remain relevant for autonomous ships Available online: <https://rolls-royce.com/media/press-releases/2018/21-03-2018-maxcmas-success-suggests-colregs-remain-relevant-for-autonomous-ships.aspx>
20. Simankov, V.S. Osnovnye metodologicheskie aspekty organizatsii i funkcionirovaniya sistem podderzhki prinyatiya reshenij bezopasnosti sudovozhdeniya / V.S. Simankov, V. V. Astrein // *Ekspluatatsiya morskogo transporta*. - 2016. - № 2(79) – S. 56-64.
21. Statheros T, Howells G, Maier KM. Autonomous Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques. *Journal of Navigation* 2008; 61:129–42. <https://doi.org/10.1017/S037346330700447X>.
22. MUNIN. Research in maritime autonomous systems project results and technology potentials. 2016.
23. Rolls-Royce. Autonomous ships. London: The next step; 2016.
24. Kongsberg. Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland 2017
25. Tvete, H.A. The ReVolt - a new inspirational ship concept 2015. <https://www.dnvg.com/technology-innovation/revolt/index.html> (accessed May 26, 2020).

Reference

1. Japan-Marine Accident Risk and Safety Information System https://www.mlit.go.jp/jtsb/statistics_mar.html#p01
2. Annual overview of marine casualties and incidents 2020. European Maritime Safety Agency, 2020. 147 r.
3. Baillod, F. Collisions - Why do they occur / Cap. Francois Baillod the initiator of the UK Marine Accident Reporting Scheme (MARS) // *Gard News*. London.: The Nautical Institute (United Kingdom) - 2004. - № 173. – С 17-21.
4. Najdenov, E.V. Proekt Novyh MPPSS / E.V. Najdenov *Morskije vesti Rossii* №14 (2020)
5. Mohovic, D Deficiencies in dearning COLREGs and new teaching methodology for nautical engineering students and seafarers in lifelong learning programs / DjaniMohovic, Robert Mohovic, Mate Baric // *THE JOURNAL OF NAVIGATION* - 2016, 69, R. 765–776
6. YAskevich, A. P. Kommentarii k MPPSS-72 / A. P. YAskevich, YU. G. Zurabov. - M.: Transport, 1990. - 479 s.
7. YUdovich, A. B. Predotvrashchenie navigacionnyh avarij morskikh sudov / A. B. YUdovich. - M.: Transport, 1988.- 224 s. ISBN 5-277-00172-7.
8. Kejhil, R. A. Stolknovenie sudov i ih prichiny / Kejhil R.A.; Per. s angl. – M.: Transport, 1987. - 240 s.
9. Kokkroft, A. N. Tolkovanie MPPSS-72 / A. N. Kokkroft, D. N. Lamejer.: Per. s angl. - M.: Transport, 1981.- 279 s.
10. Tam, Ch. K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch. K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // *J. of Navigation*. — 2009. — Vol. 62. — № 3. — P. 455-471.

26. DIMECC. D4V – design for value program report. Tampere, Finland: DIMECC Oy; 2018.
27. Jennie Sehee Ham The law of illegality and trusts: A new mess for the old one/ Legal research and development: Southampton student law review // 2019, Vol. 9, Issue 1, P. 34-40
28. Maritime Safety Committee (MSC), 100th session, 3-7 December 2018 <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-100th-session.aspx>
29. IMO. LEG 106/8/1 - Regulatory scoping exercise and gap analysis of conventions emanating from the legal committee with respect to Maritime Autonomous Surface Ships (MASS): Outcomes of MSC 99 and MSC 100 regarding MASS. 2019
30. IMO.MSC.1/Circ.1640 on Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)
31. IMO.MSC.1/Circ.1638 3 June 2021
32. First Test Area for Autonomous Ships Opened in Finland. Available online: <https://worldmaritimeneews.com/archives/227275/first-test-area-for-autonomous-ships-opened-in-finland/> (accessed on 11 July 2019).
33. First Unmanned Vessel Joins UK Ship Register. Available online: <https://worldmaritimeneews.com/archives/235207/first-unmanned-vessel-joins-uk-ship-register/> (accessed on 2 December 2019).
34. Astrein, V.V. Principy poiska luchshego resheniya v zadachah preduprezhdeniya stolknoveniya sudov / V.V.Astrein // V mire nauchnyh otkrytij № 6(42), Krasnoyarsk, Izdatel'stvo «Nauchno-innovacionnyj centr», 2013.
35. Lyu, V. Metody planirovaniya puti v srede s prepyatstviyami (obzor). Matematika i matematicheskoe modelirovanie. 2018;(1):15-58. <https://doi.org/10.24108/mathm.0118.0000098>
36. Lazarowska, A. A Discrete Artificial Potential Field for Ship Trajectory Planning. Journal of Navigation 2019;1-19. <https://doi.org/10.1017/S0373463319000468>.
37. Lyu H, Yin Y. COLREGS-Constrained Real-time Path Planning for Autonomous Ships Using Modified Artificial Potential Fields. Journal of Navigation 2019;72: 588-608. <https://doi.org/10.1017/S0373463318000796>.
38. Xie L, Xue S, Zhang J, Zhang M, Tian W, Haugen S. A path planning approach based on multi-direction A* algorithm for ships navigating within wind farm waters. Ocean Engineering 2019;184:311-22. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.04.055>.
39. Singh Y, Sharma S, Sutton R, Hatton D, Khan A. A constrained A* approach towards optimal path planning for an unmanned surface vehicle in a maritime environment containing dynamic obstacles and ocean currents. Ocean Engineering 2018;169:187-201. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.016>.
40. Szlapczynski R, Szlapczynska J. On evolutionary computing in multi-ship trajectory planning. Applied Intelligence 2012;37:155-74. <https://doi.org/10.1007/s10489-011-0319-7>.
41. Lazarowska A. A new deterministic approach in a decision support system for ship's trajectory planning. Expert Systems with Applications 2017;71:469-78. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.11.005>.
42. Wang H, Guo F, Yao H, He S, Xu X. Collision Avoidance Planning Method of USV Based on Improved Ant Colony Optimization Algorithm. IEEE Access 2019;7: 52964-75. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907783>.
43. Astrein, V.V. Procedura i skhema soglasovaniya dejstvij gruppy sudov dlya preduprezhdeniya stolknovenij / V.V. Astrein // Ekspluatatsiya morskogo transporta № 1(83), Novorossiysk, RIO GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2017
44. Astrein, V.V. Formalizatsiya pravil golosovaniya dlya preduprezhdeniya stolknovenij sudov / V.V. Astrein, L. B. Astreina // Ekspluatatsiya morskogo transporta. -2018.-№3.-S.33-36.

УДК 629.5.053; 656.615

DOI: 10.34046/aumsuomt101/14

ГЕОМОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ МОРСКОЙ АКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ СУДОВОЖДЕНИЕМ

*Е.Л. Бородин, канд. техн. наук, доцент,
С.И. Биденко, д-р техн. наук, профессор,
З.А. Гаевская, кандидат архитектуры,
С.Г. Черный, кандидат технических наук, доцент,
А.А. Бенгерт, соискатель
А.Д. Кириленко ст.преподаватель*

В статье исследованы подходы к разработке моделей и методов для представления, анализа и регулирования деятельности автономного флота с помощью формальных геопространственных структур. Для