

ОЦЕНКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОГО ДВИЖЕНИЯ СУДНА

Статья посвящена проблеме обеспечения навигационной безопасности движения морских судов. Рассматривается задача построения информационной системы, оценивающей параметры безопасного движения судна и обеспечивающей поддержку принятия решений по предотвращению опасного сближения судов. Представлены варианты модели многоуровневой оценки риска опасного сближения двух судов: дискретной модели, дающей оценку степени опасности ситуации типа «высокая», «средняя», «низкая» и непрерывной модели, базирующейся на идеях систем нечёткой логики. На основе сочетания этих моделей с классическим подходом построения «области манёвра» предложен новый способ визуализации множества опасных / безопасных скоростей и курсов движения судов. Проведены испытания разработанной системы на реальных данных трафика залива Находка, демонстрирующие применимость системы для оценки и представления параметров траектории безопасного движения судна в типичных ситуациях. Использование разработанного подхода для одновременной визуализации данных о движении «на берегу» и «на борту» даёт возможность согласовать действия оператора береговой системы управления движением судов и судоводителя.

Ключевые слова: управление движением судов, опасное сближение, траектория движения, маневрирование судна, нечеткая система.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект 15-08-00234.

Введение

Навигационная безопасность коллективного движения судов является актуальной проблемой эксплуатации водных транспортных путей [1]. В ограниченных водах её обеспечение возложено на особый класс технических средств — береговые системы управления движением судов (СУДС), задачи которых реализуются с использованием измерительной информации, доставляемой радарными и спутниковыми средствами траекторных измерений — транспондерами автоматической идентификационной системы (АИС) [2], [3].

Движение морского транспорта имеет свою особую отраслевую специфику. В судоводительской практике считается, что каждая навигационная ситуация является по-своему уникальной и зависящей от множества факторов: соблюдения Международных правил предупреждения столкновений судов в море, 1972 г. (МППСС-72), правил судоходства на конкретной акватории, состояния водной среды (течение, волнение), погодных условий, а также характера движения других судов, находящихся на акватории и т. д. [1]. Кроме того, динамика судна как объекта, движущегося в жидкой среде, исключительно сложна. Поэтому береговые СУДС не являются системами управления судном в классическом понимании. Задачей СУДС является общая диспетчеризация движения путем выдачи оператором СУДС указаний (например, о снижении скорости или изменении полосы движения), а способ выполнения этих указаний выбирает капитан судна. Другими словами, СУДС является системой поддержки принятия решений [4].

В настоящее время в организационном плане развитие береговых СУДС идёт по пути интеграции с судовыми системами и береговыми службами. Концепция такой интеграции получила название *е-навигация* [5]. С точки зрения технических аспектов *е-навигации*, СУДС должны обеспечивать механизмы координации движения судов и работы соответствующих береговых служб, в том числе за счет представления комплексных данных и обмена ими в форматах, которые будут наиболее удобны и понятны операторам береговых служб, обеспечивающих безопасность движе-

ния. Одним из перспективных подходов к представлению навигационной информации в обсуждаемом контексте являются диаграммы типа «*скорость – курс*» [6], [7]. Они визуализируют данные об опасных и безопасных скоростях и курсах движения с точки зрения задачи «*судно – судно*». Классические диаграммы типа «*скорость – курс*» оперируют двухуровневой оценкой опасности типа «*опасный / безопасный*». В работах [8] – [10] и др. авторами исследовались модели экспертного оценивания степени опасности ситуации в задаче «*судно – судно*» с выделением множества уровней опасности типа «*очень опасный / опасный / почти безопасный / и т. п.*». Комплексирование традиционных диаграмм типа «*скорость – курс*» с разработанными многоуровневыми моделями оценки опасности ситуации представляет исследовательский и прикладной интерес. Известна работа [11], в которой предлагается наиболее близкий из известных аналог такого подхода, градации уровней опасности в нём обусловлены допустимым минимальным расстоянием между судами и правилами судоходства.

С учётом результатов, полученных авторами ранее, в настоящей статье предлагается альтернативный способ построения многоуровневых диаграмм типа «*скорость – курс*», который состоит в том, чтобы разделять уровни опасности на основе траекторных свойств движения судов. Это отвечает особенностям внешнего наблюдения береговой СУДС и характеру возложенных на неё задач. Рассматриваемая модель системы оценки степени опасности параметров движения судна позволяет обеспечить поддержку принятия согласованных решений операторами СУДС и судоводителями.

Основные модельные представления

При моделировании навигационной безопасности коллективного движения будем использовать традиционный подход — построение модели задачи «*судно – судно*» для каждой пары судов, что является обычной практикой [12] – [14]. Примем, что в качестве информационной базы СУДС используется приёмопередатчик автоматической идентификационной системы (АИС), передающий информацию GPS / ГЛОНАСС, а измерение траектории каждого судна включает в себя его координаты и компоненты вектора скорости.

Рассмотрим два судна с координатами $x^{(1)}, y^{(1)}$ и $x^{(2)}, y^{(2)}$ и скоростями: $v_x^{(1)}, v_y^{(1)}$ и $v_x^{(2)}, v_y^{(2)}$. Будем описывать их коллективное движение набором величин $\mathbf{s} = (r_x, r_y, v_x, v_y)$ — вектором состояния коллективного движения двух судов, где $r_x = x^{(2)} - x^{(1)}$, $r_y = y^{(2)} - y^{(1)}$ — компоненты вектора относительного положения судов $\mathbf{r}$, $v_x = v_x^{(1)} - v_x^{(2)}$, $v_y = v_y^{(1)} - v_y^{(2)}$ — компоненты вектора относительной скорости движения судов $\mathbf{v}$ (рис. 1).

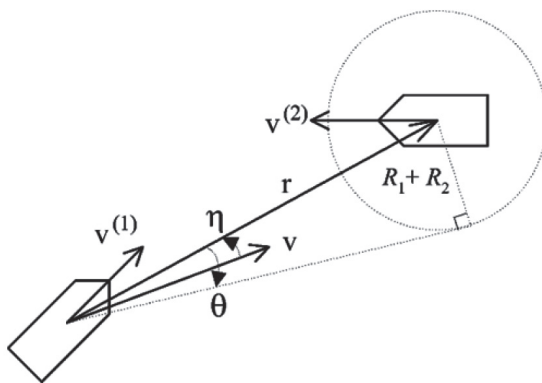


Рис. 1. Модель относительного движения пары «судно – судно»

Главным условием безопасного движения является недопущение опасного сближения судов, что обеспечивается соблюдением некоей зоны навигационной безопасности вокруг судна, называемой также *корабельным доменом* [1]. В настоящей работе рассматривается корабельный домен статического типа, жёстко привязанный к судну с номером n и интерпретируемый окружностью

заданного радиуса R_n . Совокупность величин r_x, r_y, v_x, v_y свидетельствует о потенциально опасном движении двух судов в случае выполнения следующих неформальных условий [15]:

– направление вектора скорости относительного движения судов таково, что вектор $\mathbf{v}$ находится внутри сектора, определяемого размером корабельного домена и расстоянием между судами;

– суда движутся прямолинейно и равномерно;

– время, оставшееся до максимального сближения судов, ниже допустимого.

Будем считать судно I управляемым судном. Переходя при определении потенциально опасного движения от относительного движения судов к абсолютному, будем иметь множество значений вектора скорости первого судна $\mathbf{v}^{(1)}$, соответствующих «опасным» значениям вектора $\mathbf{v}$ (заштрихованная область на рис. 2). Сектор, соответствующий потенциально опасным значениям скорости и курса судна I , получается путём параллельного переноса сектора «опасных» значений вектора $\mathbf{v}$ на вектор $\mathbf{v}^{(2)}$. Такая визуализация помогает оператору СУДС и судоводителю не только распознать потенциально опасную ситуацию, но и оценить возможности по предотвращению опасного сближения судов. Например, в данном случае следует либо уменьшить скорость судна I , либо изменить его курс таким образом, чтобы вектор $\mathbf{v}^{(1)}$ вышел из заштрихованной зоны. На рис. 2 с помощью окружности радиуса $\mathbf{v}_{\max}^{(1)}$ показаны максимально возможные значения скорости судна I .

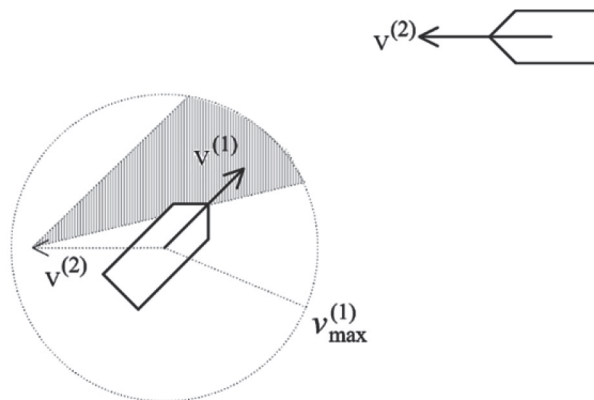


Рис. 2. Принцип построения диаграммы типа «скорость – курс»

Введем следующие величины (см. рис. 1): $|r| = \sqrt{r_x^2 + r_y^2}$ — расстояние между судами; $|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ — скорость относительного движения судов; $\theta = \arcsin \frac{R_1 + R_2}{|r|}$ — угол, определяемый расстоянием между судами и размерами их доменов; $\eta = \arccos \frac{r_x v_x + r_y v_y}{|r||v|}$ — угол между векторами $\mathbf{r}$ и $\mathbf{v}$; $\frac{d|r|}{dt} = -\frac{r_x v_x + r_y v_y}{|r|}$ — скорость изменения расстояния между судами; D — функция-детектор манёвра, причем если $D > 0$, то наблюдаемое судно маневрирует, если $D < 0$, то судно движется прямолинейно и равномерно (функция D может быть построена множеством известных способов, см., например, источник [8]); $T = -\frac{|r|^2}{r_x v_x + r_y v_y}$ — приближённое время, оставшееся до максимального сближения судов (необходимо доопределить функцию для случая относительно неподвижных судов).

Потенциально опасное сближение двух судов может быть формализовано следующим образом:

$$\eta < 0; \quad (1)$$

$$D < 0; \quad (2)$$

$$0 < T < T^*, \quad (3)$$

где T^* — пороговое значение.

Условия (1) и (2) формализуют опасную ситуацию при равномерном и прямолинейном движении судов, условие (3) отбирает из общего массива лишь те суда, время до сближения которых меньше порогового. В случае маневренного движения судов (при $D > 0$) примем, что маневрирование судна свидетельствует о попытке судоводителя придать движению безопасный характер и его контролю над ситуацией [16]. Поэтому при внешнем наблюдении маневрирующие объекты характеризуются невысоким вербальным уровнем опасности.

С учётом ранее изложенного, будем иметь следующую систему правил для оценки степени опасности навигационной ситуации u в зависимости от истинности условий (1) – (3) — табл. 1, откуда видно, что степень опасности 0 (минимальная) соответствует безопасной ситуации; степень опасности 1 (средняя) — ситуации, когда суда могут опасно сближаться, но при этом они маневрируют, т. е. судоводитель, скорее всего, контролирует ситуацию; степень опасности 2 (максимальная) — ситуации, при которой произойдет опасное сближение судов, если они не начнут манёвр уклонения.

Таблица 1

Система правил для дискретной оценки уровня опасности

Правило	Истинность условий			Степень опасности ситуации u
	(1)	(2)	(3)	
1	–	–	–	0
2	–	–	+	0
3	–	+	–	0
4	–	+	+	0
5	+	–	–	0
6	+	–	+	1
7	+	+	–	0
8	+	+	+	2

При реализации рассматриваемой модели на борту или в береговой СУДС множества значений вектора $\mathbf{v}^{(1)}$, соответствующие различным уровням опасности, визуализируются на соответствующей диаграмме «скорость – курс» различными способами (например, различным цветом или стилем).

Фаззификация задачи

Возможно представление степени опасности «судно – судно» в виде непрерывной величины. Для этого оказываются продуктивными идеи задач систем нечёткой логики [8] – [10]. В этом случае условия (1) – (3) представляются лингвистическими переменными с соответствующими термами и функциями принадлежности, а система правил (см. табл. 1) трансформируется в систему нечётких правил.

Рассмотрим интерпретацию задачи нечёткой системой типа Сугено. Введём отношение $f = \frac{\eta}{\theta}$ и соответствующую ей лингвистическую переменную P_f с термами «Big» («большое» — безопасная ситуация) и «Little» («малое» — опасная ситуация) и функциями принадлежности типа «дополнение»:

$$\rho_{\text{Little}}(f) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_f(f - c_f))};$$

$$\rho_{\text{Big}}(f) = \frac{1}{1 + \exp(-a_f(f - c_f))},$$

где a_f, c_f — настраиваемые параметры.

Введём лингвистическую переменную P_D , определяющую характер движения судна с термами «Maneuverable» (маневренное) и «Constant» (равномерное) и функциями принадлежности типа «скачок»:

$$\mu_{\text{Maneuverable}}(D) = \frac{1 + \text{sign}(D)}{2};$$

$$\mu_{\text{Constant}}(D) = \frac{1 - \text{sign}(D)}{2},$$

где D — функция детектора манёвра.

Наконец, пусть лингвистическая переменная P_T описывает величину T (время, оставшееся до сближения) с термами «Little» («малое»), «Average» («среднее») и «Large» («большое») с функциями принадлежности типа «кластер»:

$$v_{\text{Little}}(T) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_1^T(T - c_1^T))};$$

$$v_{\text{Average}}(T) = \exp\left(-\frac{(T - c_2^T)^2}{a_2^T}\right);$$

$$v_{\text{Large}}(T) = \frac{1}{1 + \exp(-a_3^T(T - c_3^T))},$$

где $a_1^T, c_1^T, a_2^T, c_2^T, a_3^T, c_3^T$ — настраиваемые параметры. Описание лингвистической переменной P_T тремя термами соответствует трем принятым в судоводительской практике значениям времени T [17]: времени, когда существует возможность принять только одно решение, которое поможет избежать столкновения (терм «Little»); времени, которое требуется для грамотного проведения оптимального маневра, когда уже можно начинать маневрирование, но еще есть время «исправить» результат ошибочного маневрирования, есть время на «вторую попытку (терм «Average»); времени, когда еще не нужно предпринимать какие-либо действия, так как ситуация может измениться (терм «Large»).

Величины f, D и T подаются на вход машины нечёткого вывода типа Сугено, на выходе которой формируется числовое значение $u \in [0, 2]$ — степень опасности навигационной ситуации «судно – судно»; значение $u = 0$ соответствует наименьшей степени опасности, $u = 2$ — наибольшей. Машина нечёткого вывода реализует систему нечётких правил (табл. 2).

Таблица 2

Система правил машины нечёткого вывода типа Сугено

Правило	P_f	P_D	P_T	Степень опасности ситуации u
1	Little	Maneuverable	Little	1
2	Little	Maneuverable	Average	0
3	Little	Maneuverable	Large	0
4	Little	Constant	Little	2
5	Little	Constant	Average	1
6	Little	Constant	Large	0
7	Big	Maneuverable	Little	0
8	Big	Maneuverable	Average	0
9	Big	Maneuverable	Large	0
10	Big	Constant	Little	0
11	Big	Constant	Average	0
12	Big	Constant	Large	0

Правило 1 табл. 2 соответствует ситуации, когда суда могут недопустимо сблизиться, но судоводитель, скорее всего, уже начал маневр уклонения (средняя степень опасности). Правила 4 и 5 соответствуют ситуации, когда суда могут недопустимо сблизиться, если не начнут маневр уклонения (правило 4 соответствует высокой степени опасности). Обучение описанной нечёткой системы состоит в настройке параметров функций принадлежности и может быть проведено как экспертным способом, так и на обучающей выборке [18], [19]. Последний способ позволяет настроить параметры системы с учётом особенностей движения на конкретной акватории. Вместе с тем, формирование обучающей выборки для рассмотренной задачи является достаточно трудоёмким и требует привлечения экспертов. Поэтому здесь ограничимся только первым вариантом. При построении диаграммы «скорость – курс» множества значений вектора $\mathbf{v}^{(1)}$, соответствующие различным степеням опасности, визуализируются, например, различными оттенками цветов.

Результаты натурных испытаний системы

Примем, что функции принадлежности термов переменных P_f и P_T имеют вид, аналогичный приведенному на рис. 3. Параметры a_f, c_f (см. рис. 3, а) выбраны так, чтобы учесть влияние ошибок измерений на определение отношения $f = \frac{\eta}{\theta}$; в идеале при $f < 1$ ситуация опасная, при $f > 1$ ситуация безопасная. Параметры $a_1^T, c_1^T, a_2^T, c_2^T, a_3^T, c_3^T$ (см. рис. 3, б) отражают правила и особенности судоходства на конкретной акватории с точки зрения времени принятия решения и совершения манёвра уклонения.

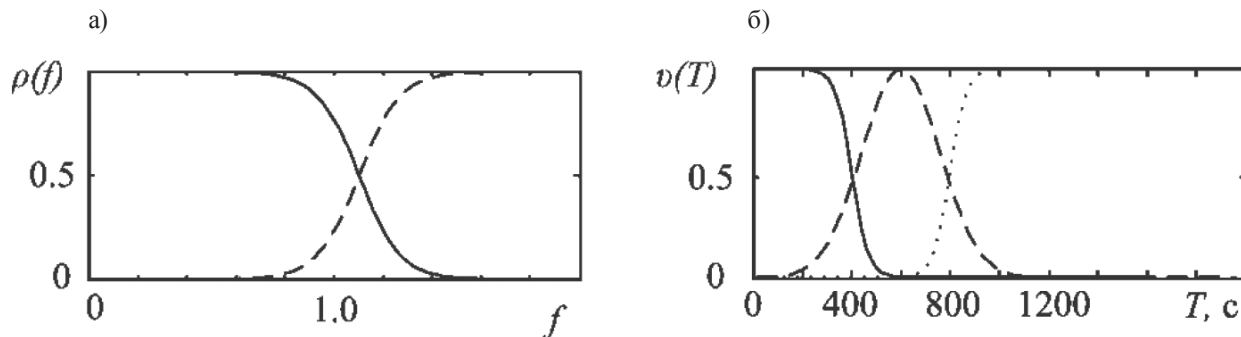


Рис. 3. Функции принадлежности термов переменных P_f (а) и P_T (б)

Условные обозначения: $\rho_{\text{Little}}(f)$ — сплошная; $\rho_{\text{Big}}(f)$ — пунктир;

$v_{\text{Little}}(T)$ — сплошная; $v_{\text{Average}}(T)$ — пунктир; $v_{\text{Large}}(T)$ — точки

Было проведено моделирование предлагаемой методики визуализации опасных и безопасных параметров движения судна на основе данных о реальном движении судов [20]. На рис. 4 показаны положения и скорости судов в заливе Находка. Красными кружками обозначены покоящиеся суда и суда, движущиеся прямолинейно и равномерно, жёлтыми — маневрирующие суда. Длина стрелки соответствует скорости движения судна, направление стрелки – курсу судна. «Выколотыми» синими кружками (1 – 4 и 5) показано моделируемое положение управляемых судов, для которых выполняется визуализация.

На рис. 5 показаны результаты визуализации опасных и безопасных возможных скоростей и курсов движения моделируемых управляемых судов 1 – 5 — рис. 4 (некоторые суда-цели, по которым также производился расчёт, находятся за границами рис. 4).

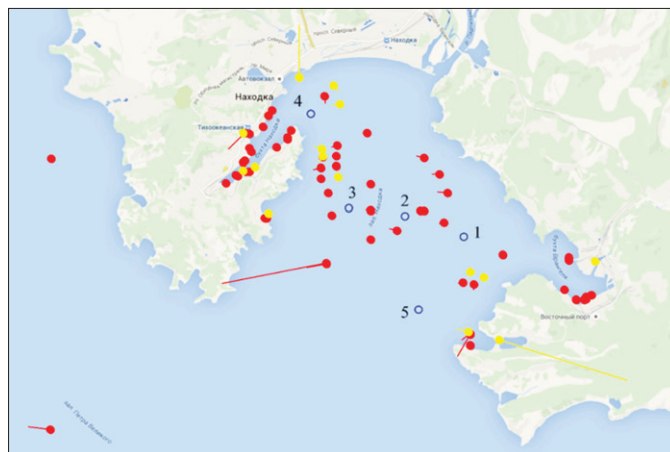


Рис. 4. Расположение судов в заливе Находка

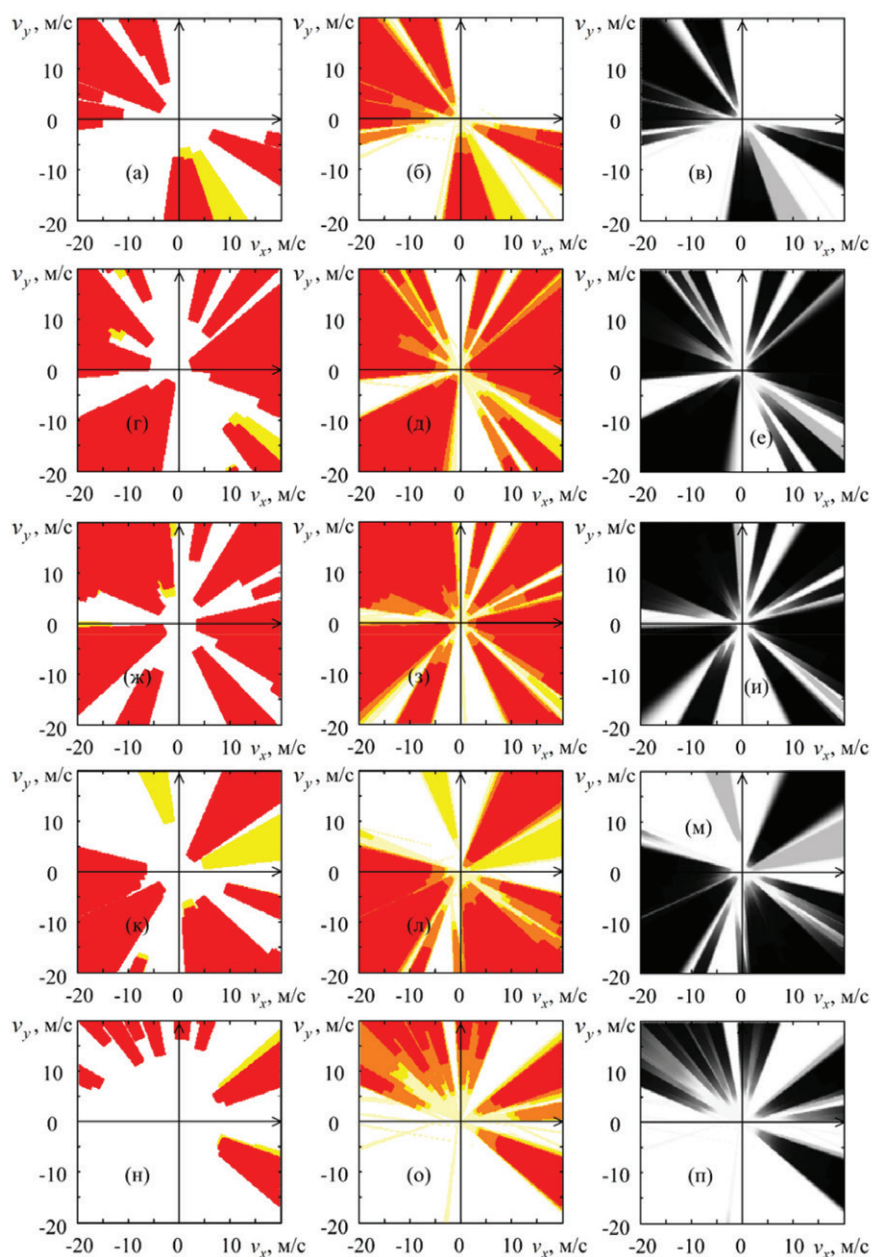


Рис. 5. Визуализация опасных и безопасных скоростей и курсов движения для навигационной ситуации рис. 4

Первая (горизонтальная) строка рисунков (см. рис. 5, *a – в*) соответствует судну 1, вторая — судну 2 и т. д. При этом в первой колонке рисунков показаны значения компонентов вектора скорости моделируемого судна, соответствующие степени опасности 0 (белая зона), 1 (жёлтая зона) и 2 (красная зона), определённые упрощённой трёхуровневой моделью табл. 1 для порогового значения времени $T^* = 300$ с.

Во второй колонке приведены значения компонентов вектора скорости моделируемого судна, соответствующие различной степени опасности, определённые нечёткой системой типа Сугено, табл. 2 и функциями принадлежности, показанными на рис. 3. Значения цветов для различных уровней опасности варьируются (белый / бледно-желтый / ярко-желтый / оранжевый / красный).

Третья колонка аналогична второй, но уровень опасности показан различными оттенками серого цвета. Видно, что, например, для судна 3 окружающая навигационная обстановка такова, что безопасным является лишь движение курсом на юг (см. рис. 5, *ж – и*); для судна 4 безопасный выход из залива на юг сильно затруднён, хотя и возможен (см. рис. 5, *к – м*); для судна 5 вполне возможно безопасное движение в сторону пирса на юго-восток, но при этом скорость движения должна быть невелика (см. рис. 5, *о, п*).

В целом предлагаемая методика визуализации опасных и безопасных параметров движения управляемого судна применима как в береговых системах управления движением судов, так и в бортовой системе поддержки принятия решений, поскольку она позволяет решить задачу о выборе оператором СУДС и судоводителем той или иной траектории движения судна. Кроме того, по степени заполнения диаграммы «*скорость – курс*» элементами и насыщенности их цветов можно судить о психологической нагрузке на судоводителей в той или иной навигационной обстановке.

Выводы

1. В условиях высокой интенсивности трафика судоводителям и операторам СУДС требуются особые инструменты поддержки принятия решений. В работе предложен метод визуализации информации о навигационной обстановке на акватории, сочетающий в себе классические подходы Митрофанова [7] и Дегрэ, Лефевра [6] и комплекс математических моделей многоуровневой оценки риска опасного сближения судов [8] – [10]. Предложенный подход позволяет наглядно представлять информацию об опасных и безопасных параметрах движения судов на рабочем месте оператора СУДС и судоводителя.

2. Одновременная визуализация полученных данных на берегу и на борту даёт возможность обеспечить согласованность действий оператора СУДС и судоводителя, что соответствует современной тенденции развития СУДС по пути углубления интеграции с судовыми системами и береговыми службами (*e-навигация*).

3. Разработанная модель представления информации о навигационной обстановке на акватории позволяет оценить эмоциональную нагрузку на судоводителей. Это открывает перспективную возможность постановки и решения задачи оценки степени опасности той или иной схемы движения конкретной акватории и выработки рекомендаций по изменению схемы движения в сторону менее опасных конфигураций.

4. Результаты работы ориентированы на расширение функций современных систем управления движением судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tam Ch. K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch. K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // Journal of Navigation. — 2009. — Vol. 62. — Is. 03. — Pp. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
2. Акмайкин Д. А. Совместное определение параметров цели с помощью судовой РЛС и транспондера АИС / Д. А. Акмайкин, Д. Б. Хоменко // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 4. — С. 48–51.

3. Сметанин С. И. Способ реализации программной веб-части системы спутникового мониторинга / С. И. Сметанин, В. А. Игнатюк, А. А. Евстифеев // Информационные технологии. — 2015. — Т. 21. — № 6. — С. 448–455.
4. Hughes C. T. When is a VTS is not a VTS / C. T. Hughes // Journal of Navigation. — 2009. — Vol. 62. — Is. 3. — Pp. 439–442. DOI: 10.1017/S0373463309005396.
5. Малеев П. И. Особенности, состояние и перспективы развития е-навигации морских объектов / П. И. Малеев, Н. И. Леденев // Навигация и гидрография. — 2012. — № 33. — С. 16–20.
6. Degre T. A collision avoidance system / T. Degre, X. Lefevre // Journal of Navigation. — 1981. — Vol. 34. — Is. 02. — Pp. 294–302. DOI: 10.1017/S0373463300021408.
7. Mitrofanov O. An anti-collision indicator / O. Mitrofanov // Journal of Navigation. — 1968. — Vol. 21. — Is. 02. — Pp. 163–170. DOI: 10.1017/S0373463300030319.
8. Гриняк В. М. Модель вероятностного типа для задачи предупреждения об опасном сближении морских судов / В. М. Гриняк, М. В. Трофимов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2015. — № 10. — С. 18–22.
9. Гриняк В. М. Система экспертного оценивания состояния навигационной безопасности морской акватории на основе нейро-нечёткой сети / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный // Проблемы управления. — 2015. — № 4. — С. 58–65.
10. Гриняк В. М. Нечеткая система распознавания опасного сближения судов на морских акваториях / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2014. — № 11 (125). — С. 36–42.
11. Szlapczynski R. A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions / R. Szlapczynski, J. Szlapczynska // Journal of Navigation. — 2015. — Vol. 68. — Is. 06. — Pp. 1041–1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296.
12. Бурмака А. И. Стратегия расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения / А. И. Бурмака // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 1 (23). — С. 20–22.
13. Некрасов С. Н. Вычисление гарантированного курса расхождения при опасности сближения вплотную / С. Н. Некрасов, Д. В. Трененков, К. И. Ефимов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 1 (29). — С. 1–15.
14. Смоленцев С. В. Автоматический синтез решений по расхождению судов в море / С. В. Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 2 (36). — С. 7–16.
15. Дерябин В. В. Исследование отказоустойчивости нейросетевой системы счисления пути судна / В. В. Дерябин // Транспорт: наука, техника, управление. — 2015. — № 9. — С. 46–51.
16. Девятисильный А. С. Информационно-технологические аспекты обеспечения безопасности движения на морских акваториях / А. С. Девятисильный, В. М. Дорожко, В. М. Гриняк // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. — 2003. — № 7. — С. 11–14.
17. Коноплев М. А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения / М. А. Коноплев // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 2. — С. 34–39.
18. Бобырь М. В. Влияние числа правил на обучение нечетко-логической системы / М. В. Бобырь // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2014. — № 11 (125). — С. 28–35.
19. Лелеков С. Г. Нечёткий вывод в адаптивных таксономических экспертных системах / С. Г. Лелеков, А. М. Лях // Информационные технологии. — 2015. — Т. 21. — № 12. — С. 890–895.
20. Головченко Б. С. Информационная система сбора данных трафика морской акватории / Б. С. Головченко, В. М. Гриняк // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. — 2014. — № 8. — С. 24–28.

DATA VISUALIZATION OF SHIP COLLISION AVOIDANCE SYSTEM

Current paper is about system of safe movement parameters estimation for navigation during ships collective traffic. Vessel traffic system (VTS) does not a system of vessel navigation it is responsible for generation general orders for the water area and final maneuver actions are decided by vessel captain. VTS development leading toward integration with vessel control system and other coastal control services (e-navigation).

Diagrams "room-of-maneuver" (velocity-course) are promising way of representing navigation information.

There are usually 2 types of “danger situations” considered in terms of velocity-course diagrams. At this paper authors are continue working on creating multi-level velocity-course type diagrams based on their previous results. As input parameters for VTS output data of AIS and valuated path of each vessel at water area that are represented with coordinates and velocity vector. The safety defined with distance between the vessels (DCPA). Under the model of safety zone (domain) is constant and represented with given radius circle. Authors define navigation situation dangerous based on set of condition parameters such as: coordinates, velocity, side of safety domain, type of movement and time. The paper gives formalization for danger situation based on angle between relative speed vector and relative vector of vessel location, maneuver function and time till the maximum convergence. Discrete system rules is built for evaluation of danger navigation situations. Problem fuzzification reduced to two terms: “Big” and “Little” to determine danger situations. Terms “Maneuverable” and “Constant” introduces to determine values of maneuver function. Terms “Little”, “Average”, “Large” are given for the time estimation till maximum convergence. Sugeno type if fuzzy logic machine is used for lingual parameter processing, that gives [0,2] as an output. Authors gives the rules for definition of danger situation level in table format based on values of lingual parameters.

There are two ways of tuning the fuzzy logic machine are considered with this work: adjusting with experts, and selftraining with given learning dataset. The paper contains results of experimental modeling with visualization of safe/danger areas on velocity-course diagrams. Authors also complete numerical experiments for real navigation situation. There are graphical results of applying the model for the vessels at Nakhodka port water area.

Keywords: vessel traffic control, collision avoidance, trace, ship maneuver, fuzzy system.

REFERENCES

1. Tam, Ch. K., R. Bucknall, and A. Greig. “Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters.” *Journal of Navigation* 62.03 (2009): 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134
2. Akmaykin, D. A., and D. B. Homenko. “Joint defining of target parameters by means of a ship radar station and 48 AIS transponder.” *Jekspluatacija morskogo transporta* 4 (2010): 48–51.
3. Smetanin, S. I., V. A. Ignatyuk, and A. A. Evstifeev. “Implementation of the Software Part of the System of Satellite Monitoring.” *Information technologies* 21.6 (2015): 448–455.
4. Hughes, Captain Terry. “When is a VTS not a VTS?.” *Journal of Navigation* 62.03 (2009): 439–442. DOI: 10.1017/S0373463309005396
5. Maleev, P. I., and N. I. Ledenev. “Specific Features, State and Prospects of Development for e-Navigation of Maritime Objects.” *Navigation and hydrography* 33 (2012): 16–20.
6. Degre, T., and X. Lefevre. “A collision avoidance system.” *Journal of Navigation*. 34.02 (1981): 294–302. DOI: 10.1017/S0373463300021408
7. Mitrofanov, O. “An anti-collision indicator.” *Journal of Navigation* 21.02 (1968):P. 163–170. DOI: 10.1017/S0373463300030319
8. Grinyak, V. M., and M. V. Trofimov. “Probability model for ships collision risk assessment.” *TRANSPORT: Science, Technology, Management* 10 (2015): 18–22.
9. Grinyak, V. M., and A. S. Devyatisilny. “Sistema jekspertnogo ocenivaniya sostojanija navigacionnoj bezopasnosti morskoy akvatorii na osnove nejro-nechjotkoj seti.” *Control sciences* 4 (2015): 58–65.
10. Grinyak, V. M., and A. S. Devyatisilny. “Fuzzy Logic Decision-making System for Ships Collision Avoidance.” *Vestnik komp’iuternykh i informatsionnykh tekhnologii* 11(125) (2014): 36–42.
11. Szlapczynski, R., and J. Szlapczynska. “A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions.” *Journal of Navigation* 68.06 (2015): 1041–1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296
12. Burmaka, A. I. “The strategy of maneuvering of ships in a situation of excessive proximity.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(23) (2014): 20–22.
13. Nekrasov, S. N., D. V. Trenenkov, and K. I. Efimov. “Calculation of the guaranteed passing course at the danger of the close-quarters situation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(29) (2015): 1–15.
14. Smolencev, S. V. “Automatic synthesis of decisions on vessels collision avoidance at sea.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(36) (2016): 7–16.
15. Deryabin, V. V. “Fault tolerance research of neural network based vessel’s dead reckoning model.” *TRANSPORT: Science, Technology, Management* 9 (2015): 46–51.

16. Devjatisilnyj, A. S., V. M. Dorozhko, and V. M. Grinjak. "Informacionno-tehnologicheskie aspekty obespechenija bezopasnosti dvizhenija na morskikh akvatorijah." *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics* 7 (2003): 11–14.
17. Konoplev, M. A. "Fuzzy logic in determination of level of danger of collision." *Jekspluatacija morskogo transporta* 2 (2009): 34–39.
18. Bobyr, M.V. "Effect of number rule on training of fuzzy-logic systems." *Vestnik komp'iuternykh i informatsionnykh tekhnologii* 11 (2014): 28–35.
19. Lelekov, S. G., and A. M. Lyakh. "The Adaptive Fuzzy Inference System for Biological Taxonomy." *Information technologies* 12 (2015): 890–895.
20. Golovchenko, B. S., and V. M. Grinjak. "Informacionnaja sistema sbora dannyh trafika morskoy akvatorii." *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics* 8 (2014): 24–28.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гриняк Виктор Михайлович —
кандидат технических наук, доцент.
ФГАОУ ВО «Дальневосточный
федеральный университет»
victor.grinyak@gmail.com
Трофимов Максим Валерьевич — инженер.
ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный
университет экономики и сервиса»
bugzex@yandex.ru
Люлько Виктор Иванович —
старший преподаватель.
ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный
университет экономики и сервиса»
viktor.lulko@vvsu.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grinyak Victor Mihajlovich —
PhD, associate professor.
Far Eastern Federal University
victor.grinyak@gmail.com
Trofimov Maxim Valerevich — engineer.
Vladivostok State University
of Economics and Service
bugzex@yandex.ru
Lulko Victor Ivanovich —
senior lecturer.
Vladivostok State University of Economics
and Service
viktor.lulko@vvsu.ru

Статья поступила в редакцию 24 июня 2016 г.