

ESTIMATION OF THE EMOTIONAL LOAD ON THE NAVIGATORS UNDER THE CONDITIONS OF HEAVY TRAFFIC

V. M. Grinyak^{1,2,3}, A. S. Devyatisilnyi², A. V. Shulenina³

¹ — Vladivostok State University of Economics and Service,
Vladivostok, Russian Federation

² — Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch of RAS,
Vladivostok, Russian Federation

³ — Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

The navigational safety of marine traffic is considered in the paper. The problem of determining the degree of danger of traffic scheme applied in a certain water area is examined. In addition to the technical and natural factors, the nature of the psychological and emotional stress on navigators should also be taken into account when assessing the risk of a traffic pattern, which is especially important in high traffic density. Metric of this or that section of the water area is suggested to be introduced as one of possible variations based on the 'room-of-maneuver' model by Mitrofanov and Degre, Lefevre. The purpose of this work is to study the mathematical models and traffic danger estimation techniques which are deemed to be implemented in forward-looking intellectual traffic control systems.

Despite the rich arsenal of mathematical techniques for solving the problem of traffic control for various types of transport (optimization techniques, genetic algorithms, game theory techniques and others), generation of real traffic schemes for a specific water area on the basis of formal mathematical presentation of the problem is almost impossible. The cause is a large number of informal locations (positions/statements) used in the navigational practice, which are formed due to the professional experience. That is why a traffic scheme is determined as a rule on the base of the experts analysis. It requires the development of mathematical apparatus which allows us to estimate the degree of safety of existing traffic schemes and ensures support in decision-making in the process of their planning. Without such optimization of traffic schemes the further growth of the traffic in heavy traffic areas will finally increase the dangerous situations.

The measure of emotional load is a degree and nature of filling the 'room-of-maneuver' chart, the ratio of dangerous and safe values of speed and course of the vessel at heavy traffic conditions. The characteristic values of this metric for a specific marine area are an important and informative indicator that determines the navigational safety. A promising way to estimate metrics is to use data from the Automatic Identification System. A model of traffic data available on open Internet resources, as well as a way to bring them to a form suitable for analysis, is presented in the paper.

The work is accompanied by the results of the study made on location. Estimation analysis of danger of traffic in the waters of the Tsugaru Strait and the Inland Sea of Japan has been presented.

Keywords: navigation safety, route planning, traffic intensity, emotional load, AIS.

For citation:

Grinyak, Victor M., Alexander S. Devyatisilnyi, and Alena V. Shulenina. "Estimation of the emotional load on the navigators under the conditions of heavy traffic." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.4 (2019): 640–651. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-640-651.

УДК 519.68:15:681.5

ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА СУДОВОДИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КОЛЛЕКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ

В. М. Гриняк^{1,2,3}, А. С. Девятисильный², А. В. Шуленина³

¹ — Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
Владивосток, Российская Федерация

² — Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
Владивосток, Российская Федерация

³ — Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

Рассмотрена проблема обеспечения безопасности движения судов на морских акваториях. Отмечается, что в условиях интенсивного трафика безопасность движения судов может быть обеспечена только при соблюдении ими определенной схемы движения, зависящей от географии акватории, общих и локальных правил судовождения, а также неформальных составляющих морской практики. В работе ставится задача оценки степени опасности актуальной схемы движения той или иной акватории. Отмечается, что наряду с техническими и природными факторами при оценке опасности схемы движения следует учитывать также характер психологической и эмоциональной нагрузки на судоводителей, что особенно является особенно важным в условиях высокой плотности движения. С целью формализации эмоционального аспекта нагрузки на судоводителей предложена метрика, основанная на известной идее «области маневра» Дегре и Лефевра. Подчеркивается, что мерой, характеризующей эмоциональную нагрузку, является степень и характер заполнения диаграммы «скорость – курс», соотношение опасных и безопасных значений скорости и курса судна в условиях коллективного движения. Характерные значения указанной метрики для конкретной морской акватории являются важным информативным показателем, определяющим навигационную безопасность движения. Перспективным способом оценки метрики является использование данных автоматической идентификационной системы. В работе приведена модель данных о движении, доступных на открытых интернет-ресурсах, а также способ их приведения к виду, удобному для анализа. Работа завершается результатами расчетов выполнена оценка опасности трафика нескольких акваторий с разной интенсивностью движения (Сангарский пролив, Внутреннее Японское море). Сделан вывод о том, что на основе предложенного подхода можно построить устойчивую картину участков морских акваторий, характеризующихся высокой эмоциональной нагрузкой на судоводителей. Данная информация представляет большую ценность для участников движения и береговых служб.

Ключевые слова: безопасность судовождения, планирование маршрута, интенсивность движения, эмоциональная нагрузка, АИС.

Для цитирования:

Гриняк В. М. Оценка эмоциональной нагрузки на судоводителей в условиях коллективного движения / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, А. В. Шуленина // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 640–651. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-640-651.

Введение (Introduction)

Обеспечение навигационной безопасности движения судов является основной задачей, решаемой при эксплуатации водных транспортных путей [1]–[3]. В зонах активного судоходства она выполняется с помощью использования целого комплекса средств и инструментов: береговых систем управления движением судов (СУДС), бортовых навигационных систем, правил судоходства. Последние основаны на «Международных правилах предупреждения столкновений судов в море» (МППСС-72) [4]. При определении правил судоходства для конкретной акватории общие принципы МППСС дополняются локальными положениями, определяемыми ее спецификой. Результаты известных исследований [5], [6] показали, что в условиях интенсивного трафика безопасность движения судов может быть обеспечена только при соблюдении ими определенной схемы движения, зависящей от географии акватории. Выбор конкретного варианта такой схемы из множества возможных осуществляется с учетом обеспечения максимальной безопасности движения и практических аспектов судовождения.

Для решения задач организации движения различных видов транспорта существует множество хорошо разработанных математических моделей и методов (например, методы оптимизации [7]–[9], метод теории игр [10], генетические алгоритмы [11] и др. Вместе с тем судовождение включает множество неформальных положений, связанных с личным и коллективным профессиональным опытом работы в различных условиях [12]–[13]: погода, время суток, квалификация экипажа, менталитет участников движения и т. п. Поэтому выработка схемы движения судов на основе строго математического подхода вряд ли возможна. Определить схему движения на конкретной акватории можно лишь на основе всестороннего экспертного анализа различной информации об акватории с учетом сложившейся судоводительской практики [14]–[16]. Среди факторов, определяющих навигационную безопасность движения на акватории, можно выделить следующие [17], [18]:

- интенсивность движения (количество) судов и расстояние между ними (плотность) на том или ином участке;
- характерная скорость движения и размеры судов, интенсивность их маневрирования;
- гидрографические и метеоусловия условия на акватории (течения, мели, ветер, волнение, видимость);
- степень обеспеченности акватории навигационными средствами (наличие маяков, буев, класс СУДС).

Наряду с техническими и природными факторами при оценке опасности схемы движения следует учитывать также характер психологической и эмоциональной нагрузки на судоводителей, которая обусловлена, в том числе сложностью окружающей навигационной обстановки и принятия управленческих решений. Возможным подходом к формализации такой сложности является оценка множества опасных и безопасных значений скорости и курса управляемого судна в условиях коллективного движения [19], [20].

В настоящей работе рассматривается модель оценки эмоциональной нагрузки на судоводителей, основанная на классической идее «области маневра» Дегре и Лефевра [21]–[23]. Метрикой (мерой) нагрузки являются степень и характер заполнения соответствующей диаграммы *скорость – курс* (в простейшем варианте метрика представляется долей опасных значений скоростей и курсов движения судна). Определение характерных значений метрики в той или иной точке акватории позволяет оценить степень опасности схемы движения и дать рекомендации по ее изменению к менее опасной конфигурации.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Традиционно будем рассматривать модель опасности коллективного движения на акватории как совокупность опасных ситуаций *судно – судно* для каждой пары судов. Рассмотрим два судна с координатами $x^{(1)}, y^{(1)}$ и $x^{(2)}, y^{(2)}$ и компонентами вектора скорости $v_x^{(1)}, v_y^{(1)}$ и $v_x^{(2)}, v_y^{(2)}$. Опишем взаимное относительное движение судов следующими величинами: $s = (r_x, r_y, v, \eta_v)$, где $v = \sqrt{(v_x^{(1)} - v_x^{(2)})^2 + (v_y^{(1)} - v_y^{(2)})^2}$ — скорость относительного движения судов, $r_x = x^{(2)} - x^{(1)}$, $r_y = y^{(2)} - y^{(1)}$ — компоненты вектора относительного положения судов \mathbf{r} , η_v — направление вектора \mathbf{v} скорости относительного движения судов (рис. 1).

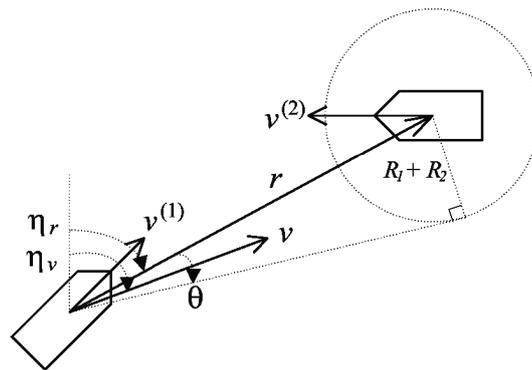


Рис. 1. Модель относительного движения двух судов

Принято считать, что для безопасного движения суда должны соблюдать зону навигационной безопасности судна [24], так называемый *корабельный домен*, в отношении которого имеется множество определений и толкований. В настоящей работе имеется в виду зона навигационной безопасности, жестко связанная с судном n и задаваемая окружностью радиусом R_n . На рис. 1 показаны следующие величины, описывающие навигационную ситуацию *судно – судно*: θ — угол, определяемый расстоянием между судами и размерами доменов (считается, что в безопасном состоянии корабельные домены не должны «вторгаться» друг в друга); η_r — азимут вектора \mathbf{r} .

Введем следующие величины: T — время, оставшееся до максимального сближения судов (ТСРА); T_* — пороговое значение времени T . Формализуем опасное сближение двух судов следующим образом:

$$|\eta_v - \eta_r| < \theta; \quad (1)$$

$$0 < T < T_*. \quad (2)$$

Условие (1) соответствует ситуации, когда при равномерном и прямолинейном движении судов точка их кратчайшего сближения окажется внутри зоны навигационной безопасности хотя бы одного из судов, т. е. суда опасно сближаются. Условие (2) выбирает из общего множества те суда, у которых время до сближения меньше порогового.

Представим опасные и безопасные значения параметров движения судна известной диаграммой *скорость – курс* [21]–[23] («область маневра» по Дегре и Лефевру [21]), которая строится следующим образом. Пусть первое судно будет управляемым (Own Ship), а второе считается судном-целью (Target Ship). Определим, согласно геометрическим представлениям (1) и (2), множество «опасных» значений вектора v . При переходе от относительного движения судов к абсолютному получим соответствующее множество «опасных» значений вектора скорости первого судна $v^{(1)}$ путем параллельного переноса сектора «опасных» значений вектора v на вектор $v^{(2)}$ (заштрихованная часть рис. 2). Здесь окружностью радиуса $v_{\max}^{(1)}$ показаны максимально возможные значения скорости первого судна. Такое наглядное визуальное представление опасных и безопасных параметров движения управляемого судна дает возможность судоводителям эффективно принимать решения для предупреждения опасного сближения. Например, в рассмотренном случае первому судну следует либо уменьшить скорость, либо изменить курс так, чтобы вектор $v^{(1)}$ вышел из заштрихованной зоны.

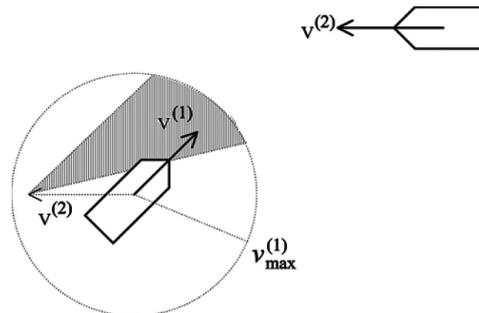


Рис. 2. Принцип построения диаграммы *скорость – курс*

Рассмотрим модельный пример, иллюстрирующий суть предлагаемой метрики эмоциональной нагрузки на судоводителей. На рис. 3 показано положение управляемого судна *I* и положение двух судов-целей. Относительные координаты судна *II* равны (3000, 3000) м, его вектор скорости равен (–5, –5) м/с. Относительные координаты судна *III* равны (1000, 400) м, оно движется с вектором скорости (–5, 0) м/с.

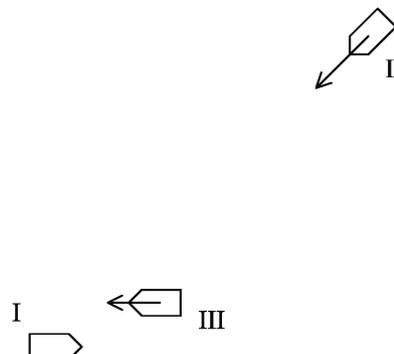


Рис. 3. Положение, курсы и скорости судов-целей *II* и *III* и управляемого судна *I*

Множество опасных значений скорости и курса первого судна для навигационной ситуации рис. 3 показано на рис. 4. Здесь v_x и v_y — компоненты вектора скорости судна I . Пороговое значение времени T_* принималось равным 300 с, радиусы зон навигационной безопасности R_n задавались равными 150 м. Красным цветом показаны опасные значения вектора скорости, определенные для пары судов $I-II$, желтым — для пары судов $I-III$. Видно, что опасными можно считать около 15 % возможных значений скорости и курса управляемого судна.

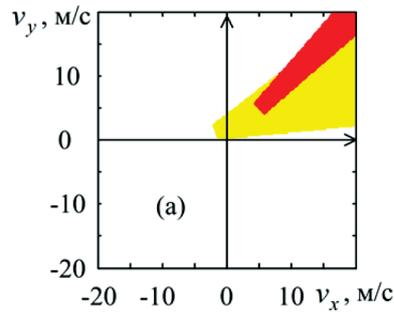


Рис. 4. Визуальное представление опасных и безопасных значений скоростей и курсов

Степень и характер заполнения диаграммы *скорость – курс* дает представление о сложности принятия решений судоводителем в складывающейся навигационной обстановке. Таким образом, метрикой эмоциональной нагрузки на судоводителей можно считать, например, долю опасных значений скоростей и курсов движения судна. Характерные значения указанной метрики для конкретной морской акватории являются важным информативным показателем, определяющим навигационную безопасность движения. Ее высокое значение служит сигналом для тщательного изучения существующей схемы движения и, возможно, выработки новой схемы, обеспечивающей более безопасное движение. Перспективным способом оценки метрики является использование данных автоматической идентификационной системы (АИС) [25], доступных на открытых интернет-ресурсах типа [26].

Ретроспективные данные о движении судов, формируемые на основе информации с ресурсов типа [26], представляют собой множество записей вида

$$\{SID, LAT, LON, SPEED, COURSE, TIME, AGE\}, \quad (3)$$

где SID — идентификатор судна; LAT — географическая широта; LON — географическая долгота; $SPEED$ — скорость движения; $COURSE$ — курс; $TIME$ — время поступления данных; AGE — возраст данных, определяющий фактический момент времени, которому они соответствуют.

Обновление данных происходит один раз в 60 с, фактическое время обновления данных задается параметром AGE и происходит, как правило, реже. Данные по интенсивно маневрирующим судам (например, в акватории морских портов) обновляются один раз в 1–3 мин. Возраст данных для судов, движущихся прямолинейно и равномерно (по морским трассам), может достигать нескольких часов.

При моделировании движения судна по конкретной локальной акватории целесообразно перейти от географических координат судна к местным прямоугольным, преобразовав их по правилу:

$$x = R \cos(LAT) \sin(LON - LON^*);$$

$$y = R \sin(LAT - LAT^*).$$

Здесь R — средний радиус Земли при представлении ее сферой; LAT^* и LON^* — соответственно широта и долгота точки, принимаемой за начало местной прямоугольной системы координат.

Поскольку характерные размеры локальных акваторий обычно не превышают сотни километров, погрешности, обусловленные представлением Земли сферой, а не эллипсоидом или геоидом, будут несущественными. В результате имеем следующие уравнения движения каждого судна, находящегося на акватории:

$$x(t) = x(t_0) + SPEED \sin(COURSE)(t - t_0);$$

$$y(t) = y(t_0) + SPEED \cos(COURSE)(t - t_0).$$

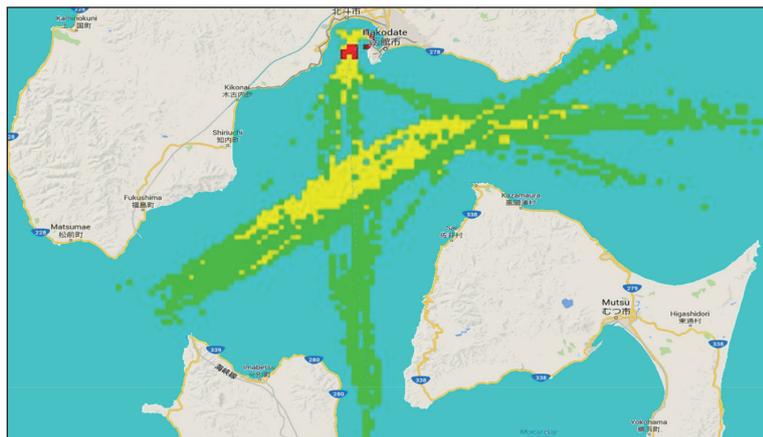
Здесь $x(t)$, $y(t)$ — координаты судна в момент времени t ; t_0 — момент времени, соответствующий возрасту данных, так что $t_0 = TIME - AGE$.

На практике из множества данных вида (3) по каждому судну следует выбирать данные с наименьшим возрастом AGE как наиболее достоверные. Имея множество записей подобного вида, можно, согласно описанной методике, определить долю опасных значений скоростей и курсов движения каждого судна в каждый момент времени. Разбивая акваторию на участки и вычисляя значения указанной метрики для проходящих по ним судов, можно оценить характерные (например, средние) значения метрики для каждого участка акватории.

Результаты (Results)

Исследования проводились на ретроспективных массивах данных о движении судов, полученных с ресурса [26] с помощью специально созданной программной системы [27]; была оценена опасность трафика нескольких акваторий с разной интенсивностью движения. На рис. 5 показаны средние значения доли опасных значений скоростей и курсов судов, движущихся в Сангарском проливе (см. рис. 5, а) и в акватории Внутреннего Японского моря (см. рис. 5, б).

а)



б)

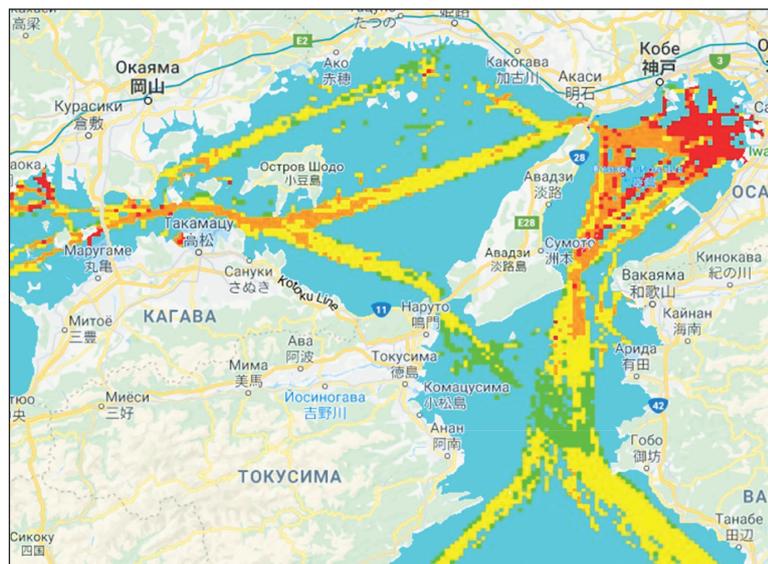


Рис. 5. Средние значения доли опасных скоростей и курсов судов:
 а — Сангарский пролив; б — Харимское море и залив Осака

Акватория разбита на квадратные участки со стороной 1000 м, радиус зоны навигационной безопасности R_n задавался равным длине корпуса судна. Зеленым цветом отмечены участки с долей опасных скоростей и курсов 20–50 %, желтым — 50–80 %, оранжевым — 80–90 %, красным — более 90 %. Можно считать, что на участках зеленого цвета судоводителю легко принимать решение, на участках желтого цвета от него требуется повышенное внимание, участки оранжевого и красного цвета характеризуются сложной навигационной обстановкой и предполагают высокую сосредоточенность и эмоциональную напряженность судоводителей.

На рис. 5, а видно, что нагруженной является лишь центральная часть Сангарского пролива, находящаяся в зоне пересечения судопотоков *север – юг* и *запад – восток*, а также воды, прилегающие к порту Хакодате. Существенное изменение схемы движения в проливе, скорее всего, неактуально.

Внутреннее Японское море — высоконагруженная акватория со сложной гидрографией. На рис. 5, б видно, что основные фарватеры, проходящие в Харимском море, требуют повышенного внимания (основной цвет метрики желтый, имеются небольшие оранжевые участки на западе). Залив Осака также является довольно сложным, суда постоянно движутся в окружении друг друга, особенно в восточной части залива. Это свидетельствует о том, что судоводителям нужно планировать работу с учетом повышенной нагрузки и быстрой усталости (например, ставить на мостик наиболее опытных членов экипажа с дублерами, а также прибегать к услугам лоцмана). Для регулирующих служб это может служить сигналом о необходимости изменения правил движения в этой части акватории).

Обсуждение (Discussion)

Оценка опасности трафика морской акватории может быть проведена с использованием различных подходов. Например, традиционно интенсивность движения оценивается как число судов, проходящих в единицу времени через тот или иной участок акватории. Такая оценка реализована, например, на ресурсе [26], а также в работах [18], [28]. Вместе с тем интенсивность сама по себе свидетельствует об опасности движения лишь косвенно: трафик может быть *плотным, но безопасным* или *разреженным, но опасным*.

Более информативной является оценка характерной частоты наступления опасных ситуаций [29]–[31], моделирующая работу системы предупреждения столкновений, так как она позволяет выделять наиболее проблемные участки акваторий, не давая при этом пути к снижению их загруженности. Известен также подход, связанный с оценкой безопасности движения судов в стесненных условиях: узкие фарватеры, малые допустимые радиусы поворота, сложная гидрография и др. Так, в работе [6] рассматривается модель многофакторного анализа трафика для судов различных классов, приведены примеры оценок для акватории Финского залива, учитываются как факторы, связанные с динамикой движения судна, так и ограниченность множества возможных управленческих решений.

Подход, представленный в настоящем исследовании, позволяет оценить сложность принятия решения судоводителями, работающими как «на борту» (капитан судна), так и «на берегу» (оператор береговой СУДС) с учетом специфики коллективного движения. Метод выявляет потенциальную, скрытую и «нереализованную» опасность трафика, которая может переходить в реальные опасные ситуации при неблагоприятном стечении обстоятельств: ухудшение видимости, сбой в работе навигационного оборудования, неправильные команды диспетчера и т. п.

Предложенные метрики интенсивности и опасности представляют собой попытку формализовать психологическую, эмоциональную нагрузку на участников движения. Представление навигационной ситуации в виде диаграмм *скорость – курс* и их анализ позволяют, в принципе, выработать рекомендации по уменьшению доли опасных значений скоростей и курсов, что является одним из преимуществ изучаемого подхода. Несмотря на то, что в рамках настоящей статьи в качестве препятствий рассматривались только другие суда, предложенная метрика легко может быть дополнена с учетом особенностей фарватеров, береговой линии, запрещенных для плавания районов и т. п.

Анализ данных о движении с точки зрения различных метрик интенсивности и опасности дает возможность дать комплексную оценку трафика морской акватории. Сопоставление результатов оценки опасности движения на акватории указанных ранее методов можно представить в следующем иерархическом порядке по значимости факторов опасности:

- географические и гидрографические факторы;
- характерная частота наступления опасных ситуаций;
- характерная доля опасных значений скоростей и курсов движения (предлагаемый метод);
- интенсивность движения.

Таким образом, предлагаемый в статье подход способен гармонично дополнить существующее множество методов оценки опасности движения на акватории, раскрывая еще один аспект многогранного понятия «опасная ситуация».

В качестве меры нагрузки на судоводителей в работе рассматриваются средние значения доли опасных скоростей и курсов судов. Наряду с этим возможно использование других характеристик диаграммы *скорость – курс*: степени заполненности, моды, числа, распределения и площади областей связности и т. п. Вопрос связи различных параметров диаграммы *скорость – курс* с эмоциональной нагрузкой и формальной неопределенностью при принятии решений требует дополнительного исследования.

Исходные траекторные данные характеризуются большим объемом. Так, например, при построении рис. 5, б был обработан массив из более чем 1 млн записей вида (3), формирование, хранение и обработка которых требуют разработки специальных программных систем и алгоритмов на основе технологий суперкомпьютеров и больших данных.

Выводы (Summary)

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Оценка степени опасности морского трафика возможна на основе различных метрик. В настоящей работе предложена метрика, оценивающая сложность принятия решений в условиях коллективного движения и формализующая эмоциональную нагрузку на судоводителей на том или ином участке акватории.

2. При проведении исследований коллективного движения хорошо зарекомендовал себя подход, связанный с использованием данных, предоставляемых АИС. Первичные данные АИС имеют ограниченную доступность для научных коллективов, поэтому возможно использование информации со специализированных интернет-ресурсов. Несмотря на невысокую частоту ее обновления (не чаще одного раза в минуту, но, как правило, гораздо реже), она вполне адекватно отражает особенности трафика морских акваторий. В сводном виде эти данные о движении, даже будучи сильно разреженными, вполне позволяют оценивать такие свойства, как характерная плотность движения [18], частота наступления опасных ситуаций [30], характерная доля опасных значений скоростей и курсов движения, что подтверждается их устойчивым характером (см. рис. 5).

3. Проведенные исследования с использованием реальных данных о движении судов подтвердили перспективность предложенного подхода к оценке характера трафика, на основе которого можно построить устойчивую картину участков морских акваторий, характеризующихся высокой эмоциональной нагрузкой на судоводителей. Данная информация представляет большую ценность для служб, обеспечивающих безопасность движения. Предложенная метрика в комплексе с другими дает возможность оценивать степень опасности актуальной схемы движения на акватории и давать рекомендации по ее изменению к менее опасным конфигурациям.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), пр. 18-07-00132.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 18-07-00132.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарский Э. А. Безопасность судоходства при проектировании морского порта / Э. А. Гагарский, С. Г. Козлов, С. А. Кириченко // Транспорт: наука, техника, управление. — 2018. — № 1. — С. 14–18.
2. Некрасов С. Н. Метод количественной оценки навигационной безопасности плавания / С. Н. Некрасов // Навигация и гидрография. — 2017. — № 48. — С. 7–17.
3. Ольховик Е. О. Информационная модель морских транспортных потоков Северного морского пути / Е. О. Ольховик, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 97–105. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-97-105.
4. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 (МППСС- 72). — М.: РКонсульт, 2004. — 80 с.
5. Лентарёв А. А. Применение судовой навигационной аппаратуры для определения статистических характеристик судопотоков / А.А. Лентарёв, М.О. Максимов // Транспортное дело России. — 2015. — № 6. — С. 156–158.
6. Лебедева М. П. Методика оценки безопасного движения судов в стесненной акватории / М. П. Лебедева, С. Д. Айзинов, А. О. Лебедев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 111–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-111-120.
7. Zeng Z. A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles / Z. Zeng, L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, A. Lammas // Ocean Engineering. — 2015. — Vol. 110. — Part A. — Pp. 303–313. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.007.
8. Кирсанов М. Н. Анализ алгоритмов выбора оптимальных маршрутов группы судов / М. Н. Кирсанов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 2 (36). — С. 183–190. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-183-190.
9. Lazarowska A. Ship's trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimisation / A. Lazarowska // Journal of Navigation. — 2015. — Vol. 68. — Is. 2. — Pp. 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
10. Александров В. А. Аппаратно-программный комплекс для моделирования задач группового управления мобильными роботами / В. А. Александров, А. И. Кобрин // Вестник МЭИ. — 2011. — № 3. — С. 88–95.
11. Каляев И. А. Методы и модели коллективного управления в группах роботов / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. — М.: Физматлит, 2009. — 280 с.
12. Студеникин Д. Е. Применение систем принятия решений для выбора параметров маневра судна / Д. Е. Студеникин, А. А. Григорян, Н. А. Маковецкая // Эксплуатация морского транспорта. — 2015. — № 4. — С. 58–62.
13. 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. 3. — Pp. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
14. Пламмер К. Дж. Маневрирование судов в узкостях / К. Дж. Пламмер. — Л.: Судостроение, 1986. — 80 с.
15. Лобанов А. А. Методические аспекты проектных работ по обеспечению навигационной безопасности плавания в современных условиях / А. А. Лобанов, Ю. В. Румянцев, Д. М. Бухов // Навигация и гидрография. — 2013. — № 35. — С. 29–38.
16. Таратынов В.В. Целесообразность разделения морских путей / В.В. Таратынов // Морской флот. — 1969. — № 9. — С. 19–20.
17. Бродский П. Г. К вопросу оценки влияния интенсивности судоходства на аварийность / П. Г. Бродский, Ю. В. Румянцев, С. Н. Некрасов // Навигация и гидрография. — 2010. — № 30. — С. 36–42.
18. Wu L. Mapping global shipping density from AIS data / L. Wu, Y. Xu, Q. Wang, F. Wang, Zh. Xu // Journal of Navigation. — 2016. — Vol. 70. — Is. 1. — Pp. 67–81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.
19. Гриняк В. М. Оценка и представление параметров безопасного движения судна / В. М. Гриняк, М. В. Трофимов, В. И. Люлько // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 4 (38). — С. 51–61. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-51-61.
20. Гриняк В. М. Визуальное представление параметров траектории безопасного движения судна / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, М. В. Трофимов // Морские интеллектуальные технологии. — 2016. — Т. 1. — № 3 (33). — С. 269–273.

21. 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.
22. Mitrofanov O. An anti-collision indicator / O. Mitrofanov // *Journal of Navigation*. — 1968. — Vol. 21. — Is. 02. — Pp. 163–170. DOI: 10.1017/S0373463300030319.
23. 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.
24. Васьков А. С. Способы представления зоны навигационной безопасности судна / А. С. Васьков, М. А. Гаращенко // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2017. — № 3 (84). — С. 38–44.
25. Ростопшин Д. Я. О проблемах использования данных автоматической идентификационной системы в задачах управления движением судов / Д. Я. Ростопшин, Д. А. Антонова // *Мехатроника, автоматизация, управление*. — 2007. — № 9. — С. 63–69.
26. MarineTraffic [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.marinetraffic.com> (дата обращения: 01.06.19).
27. Головченко Б. С. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории / Б. С. Головченко, В. М. Гриняк // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2014. — № 2 (24). — С. 156–162.
28. Zhao L. Ship Trajectories Pre-processing Based on AIS Data / L. Zhao, G. Shi, J. Yang // *Journal of Navigation*. — 2018. — Vol. 71. — Is. 05. — Pp. 1210–1230. DOI: 10.1017/S0373463318000188.
29. Weng J. Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study / J. Weng, S. Xue // *Journal of Navigation*. — 2015. — Vol. 68. — Is. 3. — Pp. 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
30. Гриняк В. М. Оценка опасности трафика морской акватории по данным Автоматической идентификационной системы / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, В. И. Люлько // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
31. Гриняк В. М. Оценка опасности движения на акватории по данным Автоматической идентификационной системы / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, Ю. С. Иваненко // *Транспорт: наука, техника, управление*. — 2017. — № 10. — С. 41–46.

REFERENCES

1. Gagarskiy, E. A., S. G. Kozlov, and S. A. Kirichenko. “Safety of navigation in the design of the seaport.” *Transport: science, equipment, management* 1 (2018): 14–18.
2. Nekrasov, S. “Method of Quantitative Evaluation of Navigation Safety.” *Navigation and Hydrography* 48 (2017): 7–13.
3. Olhovik, Evgeniy O., Andrej B. Afonin, and Aleksandr L. Tezиков. “Information model of maritime transport flows of the North sea route.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.1 (2018): 97–105. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-97-105.
4. *International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (COLREGs-72)*. M: RKonul't, 2004.
5. Lentarev, A., and M. Maksimov. “Using navigation equipment to determine the vessel traffic statistics.” *Transportnoye delo Rossii* 6 (2015): 156–158.
6. Lebedeva, Marina P., Sergei D. Aizinov, and Aleksei O. Lebedev. “Technique of assessment of the safe navigation in the «constrained» water area.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.1 (2017): 111–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-111-120.
7. Zeng, Z., L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, and A. Lammas. “A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles.” *Ocean Engineering* 110(A) (2015): 303–313. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.007.
8. Kirsanov, Mihail Nikolaevich. “Analysis of algorithms for the selection of optimal routes the group’s vessels.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(36) (2016): 183–190. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-183-190.
9. Lazarowska, A. “Ship’s trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimisation” *Journal of Navigation* 68.2 (2015): 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
10. Alexandrov, V. A., and A. I. Kobrin. “The hardware-software complex for modeling of grouped control problems for mobile robots.” *MPEI Vestnik* 3 (2011): 88–95.

11. Kaljaev, I. A., A. R. Gajduk, and S.G. Kapustjan. *Modeli i algoritmy kolektivnogo upravlenija v gruppah robotov*. M: Fizmatlit, 2009.
12. Studenikin, D., A. Grigoryan, and N. Makovetskaya. "The use of decision support systems for choosing parameters of vessel's maneuvering." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (2015): 58–62.
13. 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* 62.3 (2009): 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
14. Plammer, K. J. *Manevrirovaniye sudov v uzkostyah*. L: Sudostroyeniye, 1986.
15. Lobanov, A. A., Yu. V. Romyantsev, and D.M. Bukhov. "Methodical Aspects of Design Work Intended to Provide the Navigation Safety under the Present-Day Conditions." *Navigation and Hydrography* 35 (2013): 29–38.
16. Taratynov, V. V. "Tselesoobraznost' razdeleniya morskikh putei." *Morskoi flot* 9 (1969): 19–20.
17. Brodskii, P. G., Yu. V. Romyantsev, and S.N. Nekrasov. "On evaluation of the influence of maritime traffic intensity on accident rate." *Navigation and Hydrography* 30 (2010): 36–42.
18. Wu, L. Y. Xu, Q. Wang, F. Wang, and Zh. Xu. "Mapping global shipping density from AIS data." *Journal of Navigation* 70.1 (2016): 67–81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.
19. Grinyak, Victor Mihajlovich, Maxim Valerevich Trofimov, and Victor Ivanovich Lulko. "Data visualization of ship collision avoidance system." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 4(38) (2016): 51–61. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-51-61.
20. Grinyak, V. M., A. S. Devyatisil'nyi, and M. V. Trofimov. "Vizual'noe predstavlenie parametrov traektorii bezopasnogo dvizheniya sudna." *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 1.3(33) (2016): 269–273.
21. Degre, T., and X. Lefevre. "A collision avoidance system." *Journal of Navigation* 34.2 (1981): 294–302. DOI: 10.1017/S0373463300021408.
22. Mitrofanov, O. "An anti-collision indicator." *Journal of Navigation* 21.2 (1968):163–170. DOI: 10.1017/S0373463300030319.
23. Szlapczynski, R., and J. Szlapczynska. "A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions." *Journal of Navigation* 68.6 (2015): 1041–1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296.
24. Vaskov, A. S., and M. A. Garashchenko. "The methods for conception of ship's domain." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(84) (2017): 38–44.
25. Rostopshin, D. Ia., and D. A. Antontva. "On the Problems of Data Automatic Identification System at the Control Problems by Movement of Crafts." *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie* 9 (2007): 63–69.
26. MarineTraffic. Web. 1 June 2019 <<http://www.marinetraffic.com>>.
27. Golovchenko, B. S., and V. M. Grinyak. "Information system for vessels traffic data capture." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(24) (2014): 156–162.
28. Zhao, L., G. Shi, and J. Yang. "Ship Trajectories Pre-processing Based on AIS Data." *Journal of Navigation* 71.5 (2018): 1210–1230. DOI: 10.1017/S0373463318000188.
29. Weng, J., and S. Xue. "Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study." *Journal of Navigation* 68.3 (2015): 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
30. Grinyak, Victor M., Alexander S. Devyatisilnyi, and Victor I. Lulko. "Use of automatic identification system data for estimation of marine traffic safety." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.4 (2017): 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
31. Grinyak, V.M., A.S. Devyatisilnyi, and Yu.S. Ivanenko. "Estimation of marine traffic safety based on AIS data." *Transport: science, equipment, management* 10 (2017): 41–46.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гриняк Виктор Михайлович —
доктор технических наук, профессор
Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса
690014, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Гоголя, 41
e-mail: victor.grinyak@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grinyak, Victor M. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Vladivostok State University of Economics
and Service
41 Gogolya Str., Vladivostok, 690014,
Russian Federation
e-mail: victor.grinyak@gmail.com

Девятисильный Александр Сергеевич —
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
Институт автоматизации и процессов управления
ДВО РАН
690041, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Радио, 5
e-mail: devyatis@iacp.dvo.ru

Шуленина Алёна Викторовна —
старший преподаватель
Дальневосточный федеральный университет
690091, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Суханова, 8
e-mail: shuleninaav@mail.ru

Devyatisilnyi, Alexander S. —
Dr. of Technical Sciences,
professor
Institute of Automation and Control Processes
FEBRAS
5 Radio Str., Vladivostok, 690041,
Russian Federation
e-mail: devyatis@iacp.dvo.ru
Shulenina, Alena V. —
Senior Lecturer
Far Eastern Federal University
8 Sukhanova Str., Vladivostok, 690091,
Russian Federation
e-mail: shuleninaav@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 21 июня 2019 г.
Received: June 21, 2019.*