

УДК 004.8

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.28.1.003](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.28.1.003)

Цифровое представление и комплексная оценка навигационной безопасности движения на морских акваториях

В.М. Гриняк^{1,2,3}, Ю.С. Иваненко², В.И. Люлько¹, А.В. Шуленина², А.В. Шурыгин³

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, Российская Федерация

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук», Владивосток, Российская Федерация

Резюме: Работа посвящена проблеме обеспечения безопасного движения морских судов. Рассматривается задача оценки безопасности схемы движения, реализуемой на конкретной акватории. При этом вводится пять различных метрик безопасности. Первая метрика – «интенсивность движения» – традиционно используемая оценка плотности трафика, вычисляется как количество судов, проходящих через тот или иной участок акватории за единицу времени. Её дополняют метрики «интенсивность плюс скорость движения» (вторая) и «интенсивность плюс размеры судов» (третья). При их вычислении учитываются, соответственно, скорость судов и их длина, определяющие «вес» каждого судна. Четвёртая метрика – «стабильность параметров движения» – учитывает характер движения судов с точки зрения регулярности их курсов и скоростей. В работе обсуждаются различные варианты метрики, для иллюстрации реализован простейший из них – оценка среднеквадратичного отклонения курсов движения судов. Пятая метрика – «насыщенность трафика» – характеризует плотность движения судов с точки зрения возможности совершения ими маневров. Метрика апеллирует к традиционным модельным представлениям параметров коллективного движения судов в виде диаграммы «скорость-курс» и даёт возможность косвенно оценить сложность принятия решения судоводителями и эмоциональную нагрузку на участников движения. В обсуждении результатов работы рассматривается вариант комплексирования пяти предложенных метрик в виде системы правил, дающей интегрированную оценку безопасности движения на том или ином участке акватории. Работа сопровождается результатами расчетов предложенных метрик на реальных данных о движении судов в Сангарском проливе и их обсуждением. Показано, что предложенная система метрик позволяет сформировать систематизированное представление о степени опасности трафика, реализуемого на акватории.

Ключевые слова: безопасность судоходства, интенсивность движения, траектория движения, судопоток, трафик акватории, автоматическая идентификационная система.

Для цитирования: Гриняк В.М., Иваненко Б.С., Люлько В.И., Шуленина А.В., Шурыгин А.В. Цифровое представление и комплексная оценка навигационной безопасности движения на морских акваториях. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(1). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/GrinyakSoavtors_1_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.003

Multi-measure navigation safety estimation and digital represent for marine area

V.M. Grinyak^{1,2,3}, Y.S. Ivanenko², V.I. Lulko¹, A.V. Shulenina², A.V. Shurygin³

¹Federal State State-financed Educational Institution of Higher Education “Vladivostok State University of Economics and Service”,
Vladivostok, Russian Federation

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Far Eastern Federal University”, Vladivostok, Russian Federation

³Federal State State-financed Institution of Science “Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch Russian Academy of Science”,
Vladivostok, Russian Federation

Abstract: The paper is devoted to the problem of ensuring the safe movement of ships. The problem of assessing the safety of a traffic pattern implemented in a specific water area is considered. Five different safety metrics are introduced. The first metric - “traffic intensity” - the traditionally used traffic density estimate, is calculated as the number of vessels passing through a particular section of the water area per unit time. It is supplemented by the metrics “intensity plus speed” (second) and “intensity plus size of ships” (third). When calculating them, respectively, the speed of the vessels and their length, which determine the “weight” of each vessel, are taken into account. The fourth metric - “stability of traffic parameters” - takes into account the nature of the movement of ships in terms of the regularity of their courses and speeds. The paper discusses various options for the metric, to illustrate the simplest of them is implemented - an estimate of the standard deviation of the ship's course. The fifth metric - “traffic saturation” - characterizes the density of movement of ships in terms of the possibility of their maneuvers. The metric appeals to the traditional model representations of the collective motion parameters of the vessels in the form of a “speed-course” diagram and makes it possible to indirectly assess the difficulty of decision-making by skippers and the emotional burden on traffic participants. In the discussion of the results of the work, the option of integrating the five proposed metrics in the form of a system of rules giving an integrated assessment of traffic safety in a particular section of the water area is considered. The work is accompanied by the results of calculations of the proposed metrics on real data on the movement of ships in the Tsugaru Strait and their discussion. It is shown that the proposed system of metrics allows you to create a systematic idea of the degree of danger of traffic implemented in the water area.

Keywords: marine safety, traffic intensity, ship trajectory, ship traffic, traffic area, automatic identification system.

For citation: Grinyak V.M, Ivanenko Y.S., Lulko V.I., Shulenina A.V., Shurygin A.V. Multi-measure navigation safety estimation and digital represent for marine area. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(1). Available from https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/GrinyakSoavtors_1_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.003 (In Russ).

Введение

Навигационная безопасность является центральной проблемой организации движения морского транспорта. Рост интенсивности судоходства обуславливает необходимость постоянного совершенствования инструментов обеспечения безопасности движения [1]. Так, в последнее время расширяется трактовка положений Международных правил предупреждения столкновений судов в море (МППСС-72) [2]; углубляется интеграция бортовых и береговых средств навигации с информационными

системами смежных служб (е-Навигация) [3,4]; усиливается автоматизация и интеллектуализация бортовых и береговых средств поддержки принятия решений [5, 6]; формируются качественно новые подходы к организации движения, ориентированные на внедрение в перспективе беспилотных водных транспортных средств [7].

С точки зрения обеспечения навигационной безопасности центральное место занимает задача планирования пути, в том числе – с учётом ограничений, накладываемых определённой схемой движения («правилами движения») локальной акватории [9]. Задача выработки таких схем движения окончательно сформировалась в середине 50-х годов [10, 11], когда на гражданском флоте была массово внедрена радиолокационная техника, дающая возможность достаточно точного определения местоположения судна. В отношении схем движения в судоводительской практике устоялся термин «система установления путей движения судов». Целью такой системы является исключение неопределённостей или возможностей принятия ошибочных решений судоводителями.

Генерация схем движения и выбор конкретного варианта из множества возможных осуществляются с учётом географии акватории, особенностей трафика и различных практических аспектов судовождения. Среди факторов, определяющих навигационную безопасность акватории с точки зрения траекторных свойств находящихся на ней судов можно выделить следующие [12]:

- плотность судов, находящихся на акватории;
- характерные скорости движения судов;
- характерные размеры судов;
- стабильность параметров движения;
- насыщенность судопотока.

Как инструмент обеспечения безопасности оценка схемы движения, реализуемой на акватории, позволяет выявить её наиболее проблемные участки («узкие места»). Для регулирующих служб это служит сигналом о необходимости изменения правил движения, оптимизации судопотока в той или иной части акватории.

Оценка сложившегося варианта схемы движения возможна как экспертным способом, ориентируясь на параметры трафика и нормативную базу, так и путём анализа реального судопотока. В последнем случае перспективным путем является обращение к данным, предоставляемым Автоматической идентификационной системой (АИС). Интеграция с её сервисами, обслуживающими ту или иную локальную акваторию, позволяет получить актуальную информацию о местоположении, скоростях и курсах (а также целый ряд других данных) находящихся на ней судов. Возможно также обращение к текущим и ретроспективным данным АИС, доступным на открытых интернет-ресурсах типа [13].

В настоящей работе рассматриваются модельные представления задачи оценки навигационной безопасности акватории по данным о траекторных свойствах находящихся на ней судов. Метриками (мерой) такой безопасности выступают интенсивность движения судов, их размеры и скорости, степень хаотичности параметров движения, степень полноты трафика. Модельные представления адаптированы к специфике исходных данных о движении судов, предоставляемых сервисами АИС.

Материалы и методы

В основе Автоматической идентификационной системы лежат технологии автоматического зависимого наблюдения в режиме радиовещания (ADS-B) и мультilaterации (MLAT) [14]. В результате имеется возможность получения довольно большого набора данных по каждому судну, находящемуся в зоне ответственности

системы. Это прежде всего географические координаты и регистрационные данные судна, а также его курс, скорость, геометрические размеры, водоизмещение, класс (танкер, сухогруз, паром и т.п.), показатель манёвра и целый ряд других параметров [15].

Для решения рассматриваемой задачи оценки безопасности акватории будем считать, что дано множество кортежей вида:

$$\{SID, LAT, LON, SPEED, COURSE, TIME, AGE\}. \quad (1)$$

Здесь *SID* – идентификатор судна, *LAT* и *LON* – соответственно географические широта и долгота судна, *SPEED* и *COURSE* – его скорость и курс, *TIME* и *AGE* – время поступления данных и их возраст. Кроме того, считаются известными длина и ширина каждого судна.

При обращении к данным, предоставляемых ресурсами типа [13], следует учитывать дискретность параметра *TIME* (обычный период обновления данных составляет 60 секунд). При моделировании движения судов на локальной акватории целесообразно перейти от географических координат судна к местным прямоугольным. Характерные размеры таких акваторий не превышают сотен километров, поэтому погрешности, обусловленные шарообразностью Земли, будут несущественными. Координаты преобразуются по правилу

$$\begin{aligned} x &= R \cos(LAT) \sin(LON - LON^*), \\ y &= R \sin(LAT - LAT^*). \end{aligned}$$

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

Будем рассматривать пять метрик, характеризующих безопасность движения на акватории.

1. *Метрика «интенсивность движения»*. Метрика характеризует количество судов, проходящих через тот или иной участок акватории за единицу времени. Может оцениваться для всех судов, или только для судов определённых классов. Для вычисления значения метрики акватория разбивается на полигональные участки (например, квадраты) и определяется сколько точек, соответствующих различным судам из множества кортежей (1), оказалось внутри того или иного многоугольника. Полученный результат нормируется на интервал времени, за который взяты данные (1).

2. *Метрика «интенсивность плюс скорость движения»*. Метрика позволяет выявить те участки акватории, где скорость движения судов наиболее высока. Вычисляется аналогично первой метрике, но каждому судну приписывается «вес», зависящий от его скорости движения. Таким образом, более скоростные суда дают больший вклад в метрику (сумму) по каждому многоугольнику. Информативный результат даёт линейная зависимость «веса» судна от скорости, например, по единице на каждые 10 м/с.

3. *Метрика «интенсивность плюс размеры судов»*. Метрика выявляет те участки акватории, где движутся самые большие суда. Вычисляется аналогично второй метрике, «вес» судна зависит от его длины, более длинные суда имеют больший вес. Линейная зависимость «веса» судна от длины может выражаться, например, соотношением по единице на каждые 100 метров длины.

4. *Метрика «стабильность параметров движения»*. Метрика характеризует вариативность скоростей и курсов движения том или ином участке акватории. Как и в предыдущих случаях, акватория разбивается на полигональные участки. Метрика может оцениваться различными способами. Первый – оценка среднеквадратичного отклонения

вектора скорости объектов, находящихся внутри выбранного многоугольника. Может оцениваться как векторная величина, так и набор скалярных величин (то есть среднеквадратичное отклонение скорости и курса по отдельности). Второй – более сложный и информативный способ – связан с выявлением множества характерных значений скоростей и курсов судов – кластеров; кластеризация может быть как векторной, так и скалярной. В первом случае высокое относительное значение величины среднеквадратичного отклонения свидетельствует о «хаотичном» характере движения на выбранном участке акватории. Во втором случае важны число выявленных кластеров параметров движения, их «ширина», «разброс» величин относительно центров кластеров. Так, если выявлено 1-2 «узких» кластера по курсу, то это свидетельствует о регулярном, стабильном судопотоке на участке. Большее количество кластеров по курсу говорит о разнонаправленных пересекающихся судопотоках. Большая относительная ширина кластеров означает нерегулярное движение.

5. *Метрика «насыщенность трафика».* Метрика характеризует плотность находящихся на участке акватории судов с точки зрения их возможности совершать манёвры. Разобьём акваторию на полигональные участки. Пусть имеется два судна, первое из которых («управляемое») находится внутри выбранного участка, второе («судно-цель») может как находиться внутри участка, так и быть расположено вне его. Имеют место следующие уравнения движения двух судов:

$$\begin{aligned}x_1(t) &= x_1(t_1^0) + SPEED_1 * \sin(COURSE_1) * (t - t_1^0), \\y_1(t) &= y_1(t_1^0) + SPEED_1 * \cos(COURSE_1) * (t - t_1^0), \\x_2(t) &= x_2(t_2^0) + SPEED_2 * \sin(COURSE_2) * (t - t_2^0), \\y_2(t) &= y_2(t_2^0) + SPEED_2 * \cos(COURSE_2) * (t - t_2^0),\end{aligned}$$

где $x_1(t)$, $y_1(t)$, $x_2(t)$, $y_2(t)$ - координаты первого и второго судна в момент времени t , $SPEED_1$, $COURSE_1$, $SPEED_2$, $COURSE_2$ – скорости и курсы первого и второго судна, t_1^0 , t_2^0 – моменты времени, соответствующие возрасту данных каждого судна, так что $t_i^0 = TIME_i - AGE_i$. При такой модели движения расстояние между судами в момент времени t будет равно

$$r(t) = \sqrt{(x_1(t) - x_2(t))^2 + (y_1(t) - y_2(t))^2}.$$

Решая уравнение $dr(t)/dt = 0$ относительно t получим величину времени кратчайшего сближения судов t_{CPA} и соответствующую ему величину $r(t_{CPA})$ – кратчайшее расстояние между судами, а также координаты судов в момент их кратчайшего сближения. Если $t_{CPA} > t_1^0$ и $t_{CPA} > t_2^0$ (суда сближаются) и величина $r(t_{CPA})$ меньше минимально допустимого расстояния между судами, их движение считается опасным. Перебирая множество возможных курсов и скоростей первого («управляемого») судна и вычисляя $r(t_{CPA})$ относительно всех судов, находящихся на акватории, можно оценить долю возможных курсов и скоростей первого судна, ведущих к опасному сближению с другими судами. Решая эту задачу для всех судов, находящихся внутри выбранного участка акватории, возможно определить среднее значение такой доли для этого участка. Если доля опасных скоростей и курсов движения высока, это свидетельствует об ограниченной возможности судоводителя изменить параметры движения без создания помех другим участникам движения; косвенно это говорит о «насыщенности» пропускной способности трафика на выбранном участке акватории.

Возможна геометрическая интерпретация метрики «насыщенность трафика» [16, 17]. В этом случае опасные и безопасные значения параметров движения судна представляются известной диаграммой «скорость-курс» (диаграмма «области манёвра»

Дегре и Лефевра [18, 19]). Рассмотрим модельный пример такого представления. Пусть I – управляемое судно, II и III – суда-цели (см. Рисунок 1).

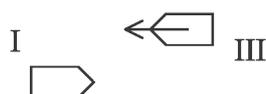


Рисунок 1. Положение, курсы и скорости судов-целей (II и III) и управляемого судна (I)

Относительные координаты судна II равны (3000, 3000) м, компоненты вектора скорости равны (-5, -5) м/с. Относительные координаты судна III равны (1000, 400) м, оно движется с вектором скорости (-5, 0) м/с. Множество опасных значений скорости и курса первого судна для навигационной ситуации Рисунка 1 показано на Рисунке 2.

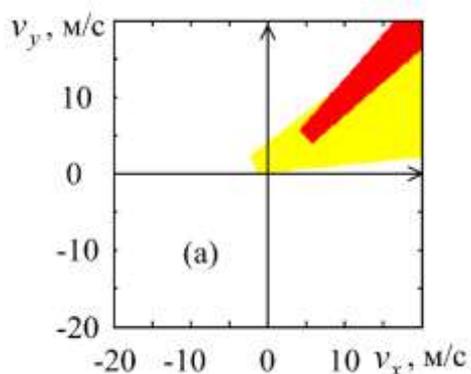


Рисунок 2. Визуализация опасных скоростей и курсов движения для навигационной ситуации Рисунка 1

Здесь v_x и v_y – компоненты вектора скорости судна I. Минимальное допустимое расстояние между судами считается равным 3000м. Красным показаны опасные значения скоростей и курсов, определённые для пары судов I – II, желтым – для пары судов I – III. В данном случае опасными являются около 15% возможных значений скорости и курса управляемого судна.

Результаты

Предложенные метрики оценки навигационной безопасности движения были апробированы на данных целого ряда характерных морских акваторий. В качестве примера ниже представлены результаты для акватории Сангарского пролива. Анализировались данные о движении судов в течение суток, собранные с ресурса [13] с помощью специальной программной системы [20]. Акватория разбивалась на квадраты размером 1 км.

На Рисунке 3 показан результат оценки значений метрики «Интенсивность движения». Бледно-зелёным цветом показаны участки с интенсивностью от 0.2 судна в час, ярко-зелёным – свыше 1 судна в час. Метрика хорошо показывает основные трассы, по которым происходит движение в проливе: направления «север-юг» и «запад-восток». Видно, что в целом интенсивность движения в проливе невысока.

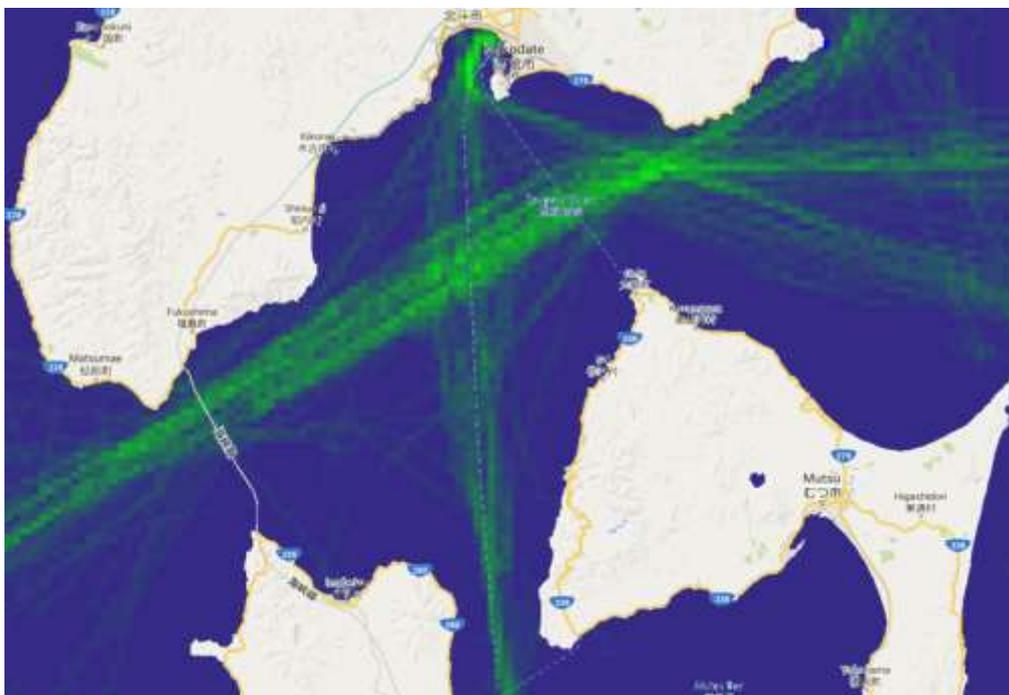


Рисунок 3. Значения метрики «Интенсивность движения»

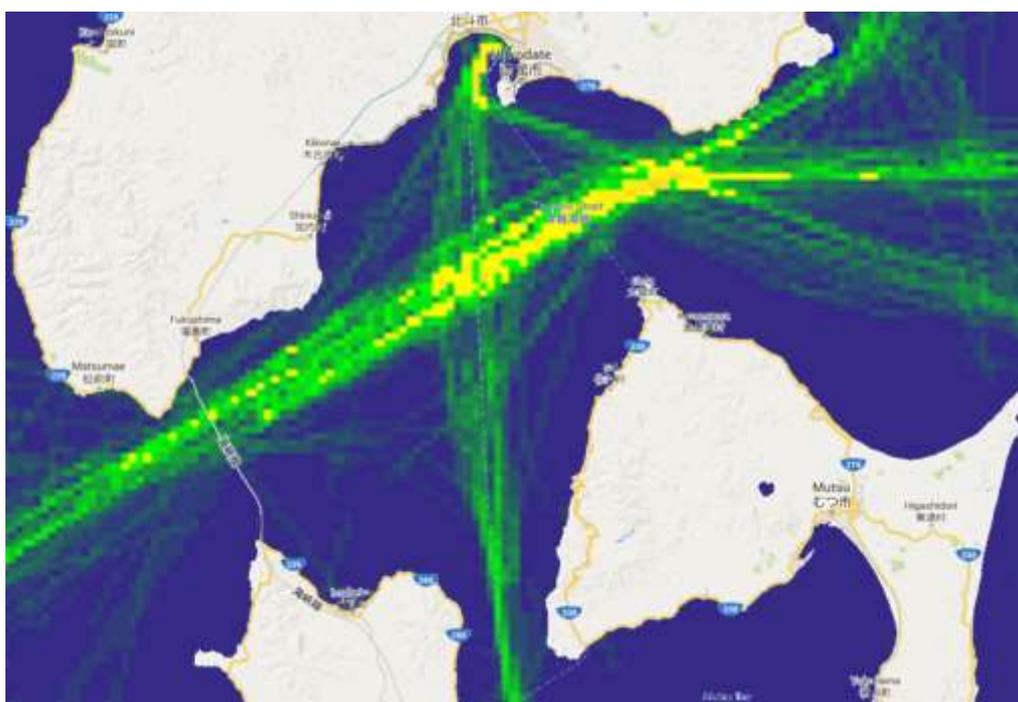


Рисунок 4. Значения метрики «Интенсивность плюс скорость движения»

На Рисунке 4 показаны вычисленные значения метрики «Интенсивность плюс скорость движения». Вес судна увеличивался на 1 за каждые 10 м/с скорости. Хорошо видны участки, где высока доля судов, движущихся с высокой скоростью (жёлтые точки соответствуют значениям метрики от 1 до 3 «скоростных» судов в час). В основном это трасса «Японское море – Тихий океан» и акватория, прилегающая к порту Хакодате (здесь велика доля малых скоростных плавсредств).

На Рисунке 5 показаны вычисленные значения метрики «Интенсивность плюс размеры судов». Вес судна увеличивался на 1 за каждые 100 м длины. Хорошо видны участки, где высока доля судов большой размерности (жёлтые точки соответствуют значениям метрики от 1 до 3 «больших» судов в час). В основном они движутся по трассе «Японское море – Тихий океан» и в акватории порта Хакодате. Видна явная корреляция Рисунки 4 и 5. Это означает что на выбранной траектории самые большие суда одновременно и самые скоростные.

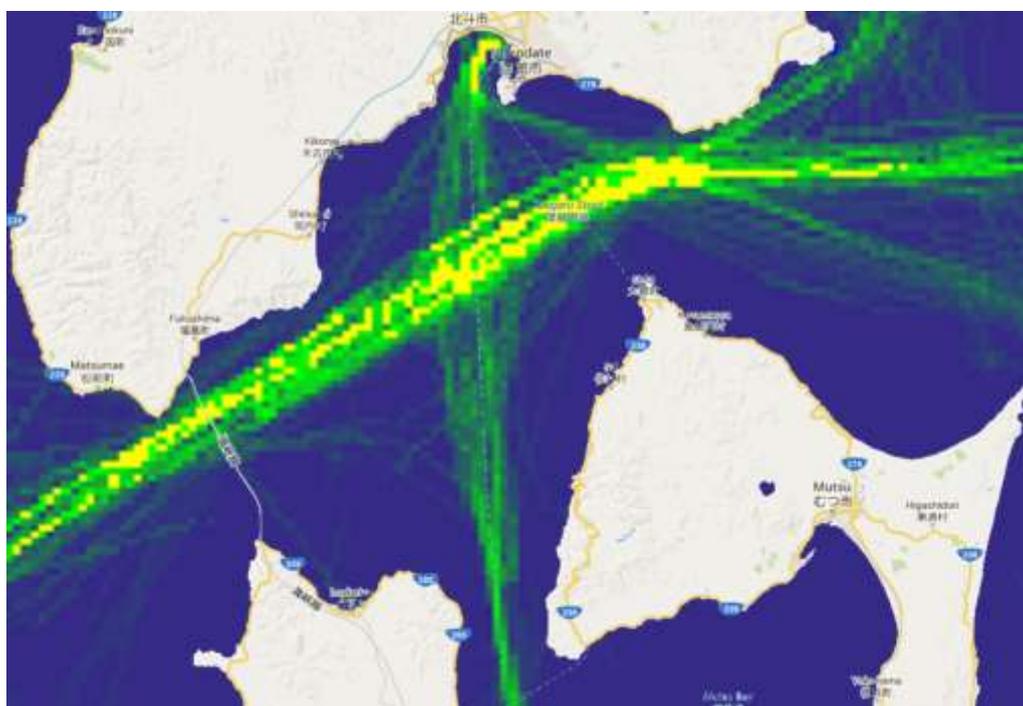


Рисунок 5. Значения метрики «Интенсивность плюс размеры судов»

На Рисунке 6 показаны вычисленные значения метрики «Стабильность параметров движения». Был выбран простейший вариант метрики – оценивалось среднеквадратичное отклонение курсов судов. Цветом выделены точки, в которых число различных судов за сутки было не менее 3. Бледно зелёный цвет соответствует среднеквадратичному отклонению курсов судов менее 10° , ярко зелёный – от 20° до 30° , жёлтый – более 30° . Видно, что большой «разброс» курсов судов имеет место в зоне пересечения судопотоков (в центре Рисунка) и в зонах поворота судов на востоке пролива.

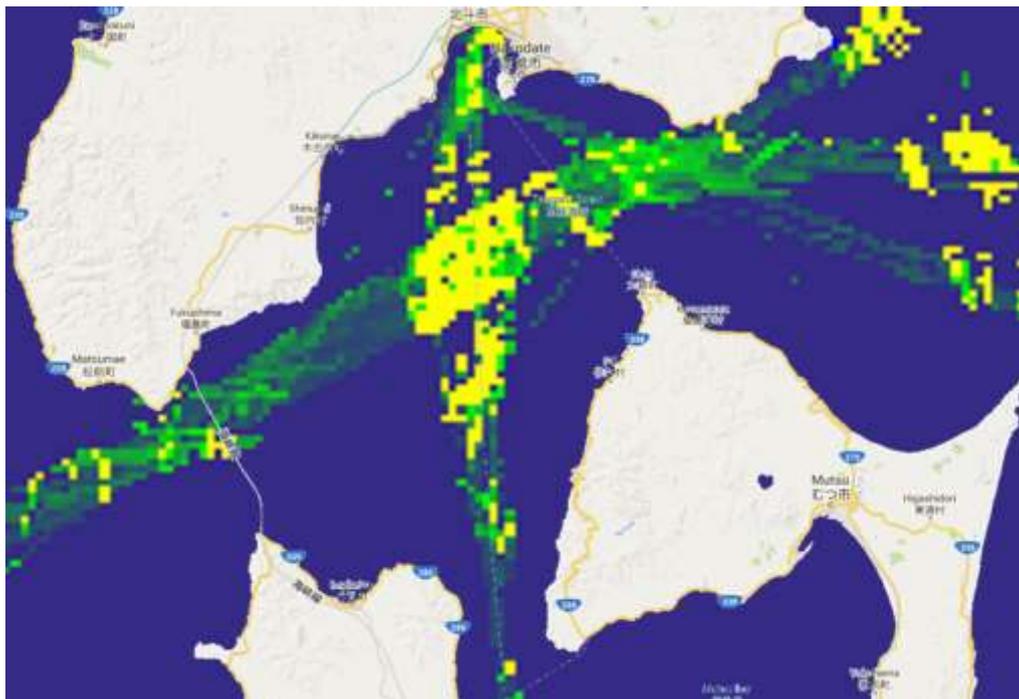


Рисунок 6. Значения метрики «Стабильность параметров движения»

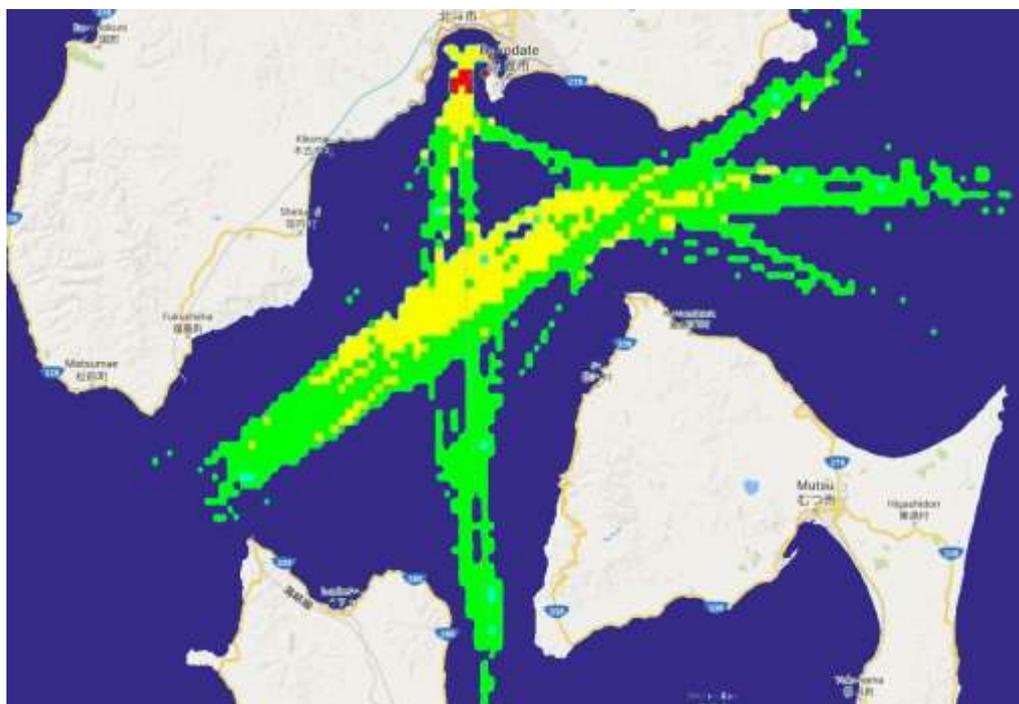


Рисунок 7. Значения метрики «Насыщенность трафика»

На Рисунке 7 показаны вычисленные значения метрики «Насыщенность трафика». Показаны значения доли опасных значений скоростей и курсов судов. Зеленый цвет соответствует значениям от 20% до 50%, желтый – от 50% до 80%, оранжевый – от 80% до 90%, красный – свыше 100%. Видно, что в целом акватория характеризуется невысокой насыщенностью трафика, оранжевые и красные участки имеются только вблизи акватории порта. Это говорит о том, что Сангарский пролив относительно «лёгок» для судоходства.

Обсуждение

Каждая из рассмотренных метрик раскрывает одну из сторон комплексного и многозначного понятия «безопасность движения». Оценка интенсивности движения – традиционный подход, реализованный, например, в работах [21-25] и на ресурсе [13]. Рассмотренные в настоящей работе метрики, учитывающие скорость и размеры судов, дополняют и расширяют классические представления. Вместе с тем высокая интенсивность движения коррелирует с опасностью лишь косвенно. Трафик может быть интенсивным, но сравнительно безопасным или разреженным, но опасным.

Метрика «Стабильность параметров движения» дополняет метрики, связанные с интенсивностью. Участки акваторий со стабильными параметрами траекторий потенциально менее опасны. Следует отметить работу [26], в которой расширяется представление о возможностях кластеризации параметров движения и предлагается переход от кластеризации «в точке» к выделению кластеров как устойчивых путей движения судов, «пересекающих» акваторию. Рассмотренная в настоящей работе метрика «Стабильность параметров движения» может быть адаптирована и к такой модели представления траекторий движения судов.

Метрика «Насыщенность трафика» характеризует формальную возможность изменения курса и скорости судна без создания помех другим участникам движения, а также сложность принятия решения судоводителями, работающими как «на борту» (капитан судна), так и «на берегу» (оператор береговой системы). Метрика оценивает потенциальную, «нереализованную» опасность трафика, которая может обернуться в реальные опасные ситуации при неблагоприятном стечении обстоятельств (при сбоях в работе навигационного оборудования, неправильных командах диспетчера, ухудшении видимости и т.п.). Ещё один аспект метрики – формализация психологической, эмоциональной нагрузки на участников движения. Достоинством метрики является представление данных о движении в виде диаграмм «скорость-курс», что даёт возможность вырабатывать рекомендации по её уменьшению. Отметим, что метрика «Насыщенность трафика» характеризуется высокой вычислительной сложностью алгоритма. Так, для формирования Рисунка 7 потребовалось более суток вычислений на типовой ЭВМ общего назначения.

Совокупность данных, полученных по результатам вычисления рассмотренных метрик, может быть представлена в виде интегрированной комплексной оценки безопасности движения на акватории. Пусть каждая из метрик представляется лингвистической переменной с терминами «высокий» и «низкий». Введём величину «уровень опасности движения», которая принимает значения от 1 до 20 согласно системе правил Таблицы 1.

Таблица 1. Система правил оценки значений интегрированной метрики

Уровень опасности движения	Интенсивность	Интенсивность плюс размеры	Интенсивность плюс скорость	Стабильность	Насыщенность
1	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
2	Низкая	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
3	Низкая	Низкая	Высокая	Низкая	Низкая
4	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая
5	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая
6	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая	Низкая
7	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая
8	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая
9	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
10	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
11	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая
12	Низкая	Высокая	Низкая	Низкая	Высокая
13	Низкая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
14	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая
15	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая
16	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая
17	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Высокая
18	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая
19	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
20	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая

Функции принадлежности термов могут быть различными, учитывающими свойства трафика конкретной акватории и специфику решаемых задач. При формировании системы правил было принято, что высокое значение интенсивности движения всегда соответствует высоким значениям метрик «Интенсивность плюс скорость движения» и «Интенсивность плюс размеры судов», что позволяет уменьшить число правил до 20.

Заключение

Генерация схем движения на морских акваториях как системы установления путей движения судов является важной частью мероприятий по обеспечению безопасности движения судов в районах интенсивного судоходства. Эта деятельность связана с решением специфической задачи оценки навигационной безопасности существующей схемы движения с целью выработки рекомендаций по её изменению. В силу многоаспектности самого понятия безопасности движения она может быть оценена различными метриками (мерами). В настоящей работе рассмотрены пять таких различных метрик, дополняющих друг друга, а также, комплексная оценка безопасности на их основе. Предложенная цветовая модель интерпретации уровней опасности, удобная для цифрового представления и обработки данных.

Источником данных для оценки безопасности схемы движения на морской акватории могут служить данные, предоставляемые сервисами Автоматической идентификационной системы. В работе показана перспективность использования не только первичных данных АИС, но и их вариантов, доступных на специализированных

интернет-ресурсах. Несмотря на сильную «разреженность» этой версии данных, они достаточно адекватно представляют сводные особенности трафика.

Для оценки рассмотренных в работе метрик необходимы данные о движении судов от нескольких десятков часов до нескольких суток. Так, для формирования Рисунки 3-7 были обработаны массивы из 300 тысяч записей вида (1). Для высоконагруженных акваторий характерны объёмы данных 10-50 млн записей. Оценка безопасности движения в таких районах требует разработки специальных программных систем и алгоритмов на основе технологий суперкомпьютеров и больших данных.

Проведённые исследования рассмотренного подхода к оценке безопасности на реальных данных о движении судов подтвердили его перспективность. На основе созданной системы метрик возможно построить устойчивую картину районов морских акваторий, характеризующихся повышенной нагрузкой на судоводителей. Эта информация представляет большую ценность при реализации мероприятий по обеспечению безопасности движения.

Благодарности

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Гагарский Э.А., Козлов С.Г., Кириченко С.А. Безопасность судоходства при проектировании морского порта. *Транспорт: наука, техника, управление*. 2018;(1):14–18.
2. Астреин В.В. Системы предупреждения столкновений судов, тенденции развития (к 40-летию МППСС-72). *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. 2012;(1):7–17.
3. Боран-Кешишьян С.Л. Оптимизация судовых путей при купировании неблагоприятных погодных условий в концепции единого информационного поля e-Навигации. *Эксплуатация морского транспорта*. 2018;2(87):69–79.
4. Гладских Е.П., Костин В.Н., Максимов В.А., Репин Ю.М. Развитие средств навигационного оборудования прибрежной зоны Российской Федерации в соответствии с концепцией e-Навигации. *Навигация и гидрография*. 2016;(43):13–21.
5. Седова Н.А., Седов В.А., Левченко Н.Г. Оценка степени опасности наблюдаемой цели на море с использованием систем искусственного интеллекта. *Морские интеллектуальные технологии*. 2017;3-4(38):106–114.
6. Шолохова А.А. Поиск аномалий в сенсорных данных на примере анализа движения морского судна. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;(3).
7. Дмитриев В.И., Каретников В.В. Методы обеспечения безопасности мореплавания при внедрении беспилотных технологий. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2017; 6(9):1149–1158.
8. Tam Ch. K., Bucknall R., Greig A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters. *Journal of Navigation*. 2009; 3(62):455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
9. Lyu H. COLREGS-Constrained Real-time Path Planning for Autonomous Ships Using Modified Artificial Potential Fields. *Journal of Navigation*. 2019; 3(72):588–608. DOI: 10.1017/S0373463318000796.

10. Лентарёв А.А. *Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания: учебное пособие*. Владивосток: Морской государственный университет. 2004.
11. Лентарёв А.А., Максимов А.А. Применение судовой навигационной аппаратуры для определения статистических характеристик судопотоков. *Транспортное дело России*. 2015;(6):156–158.
12. Бродский П.Г., Румянцев Ю.В., Некрасов С.Н. К вопросу оценки влияния интенсивности судоходства на аварийность. *Навигация и гидрография*. 2010;(30):36–42.
13. MarineTraffic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marinetraffic.com> (дата обращения: 01.11.19).
14. ADS-B Technologies Website [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ads-b.com> (дата обращения: 01.11.19).
15. Zhao L., Shi G., Yang J. Ship Trajectories Pre-processing Based on AIS Data. *Journal of Navigation*. 2018;5(71):1210–1230. DOI: 10.1017/S0373463318000188.
16. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Трофимов М.В. Визуальное представление параметров траектории безопасного движения судна. *Морские интеллектуальные технологии*. 2016;1–3(33):269–273.
17. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С., Девятисильный А.С. Визуализация параметров траектории безопасного движения судна. *Информационно-измерительные и управляющие системы*. 2016;8(14):52–60.
18. Degre T., Lefevre X. A collision avoidance system. *Journal of Navigation*. 1981;2(34):294–302. DOI: 10.1017/S0373463300021408.
19. Szlapczynski R., Szlapczynska J. A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions. *Journal of Navigation*. 2015;6(68):1041–1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296.
20. Головченко Б.С., Гриняк В.М. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2014;2(24):156–162.
21. Wu L., Xu Y., Wang Q., Wang F., Xu Zh. Mapping global shipping density from AIS data. *Journal of Navigation*. 2016;1(70):67–81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.
22. Ольховик Е.О. Исследование плотности транспортных потоков 2018 года в акватории Северного морского пути. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2018;5(10):975–982.
23. Weng J., Xue S. Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study. *Journal of Navigation*. 2015;3(68):602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
24. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Люлько В.И. Оценка опасности трафика морской акватории по данным Автоматической идентификационной системы. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2017;(4):681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
25. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С. Использование данных АИС для оценки опасности коллективного движения на морской акватории. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;(3).
26. Zhao L., Shi G. Maritime Anomaly Detection using Density-based Clustering and Recurrent Neural Network. *Journal of Navigation*. 2019;4(72):894–916. DOI: 10.1017/S0373463319000031.

REFERENCES

1. Gagarskij Je.A., Kozlov S.G., Kirichenko S.A. Bezopasnost' sudohodstva pri proektirovanii morskogo porta. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*. 2018;(1):14-18.
2. Astrein V.V. Sistemy preduprezhdenija stolknovenij sudov, tendencii razvitija (k 40-letiju MPPSS-72). *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Morskaja tehnika i tehnologija*. 2012;(1):7-17.
3. Boran-Keshish'jan S.L. Optimizacija sudovyh putej pri kupirovanii neblagoprijatnyh pogodnyh uslovij v koncepcii edinogo informacionnogo polja e-Navigacii. *Jekspluatacija morskogo transporta*. 2018;2(87):69-79.
4. Gladskih E.P., Kostin V.N., Maksimov V.A., Repin Ju.M. Razvitie sredstv navigacionnogo oborudovanija pribrezhnoj zony Rossijskoj Federacii v sootvetstvii s koncepciej e-Navigacii. *Navigacija i gidrografija*. 2016;(43):13-21.
5. Sedova N.A., Sedov V.A., Levchenko N.G. Ocenka stepeni opasnosti nabljudaeмой celi na more s ispol'zovaniem sistem iskusstvennogo intellekta. *Morskie intellektual'nye tehnologii*. 2017;3-4(38):106-114.
6. Sholohova A.A. Poisk anomalij v sensoryh dannyh na primere analiza dvizhenija morskogo sudna. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2017;(3).
7. Dmitriev V.I., Karetnikov V.V. Metody obespechenija bezopasnosti moreplavanija pri vnedrenii bespilotnyh tehnologij. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2017;6(9):1149-1158.
8. Tam Ch. K., Bucknall R., Greig A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters. *Journal of Navigation*. 2009;3(62):455-476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
9. Lyu H. COLREGS-Constrained Real-time Path Planning for Autonomous Ships Using Modified Artificial Potential Fields. *Journal of Navigation*. 2019;3(72):588-608. DOI: 10.1017/S0373463318000796.
10. Lentarjov A.A. *Morskie rajony sistem obespechenija bezopasnosti moreplavanija: uchebnoe posobie*. Vladivostok: Morskoj gosudarstvennyj universitet. 2004.
11. Lentarjov A.A., Maksimov A.A. Primenenie sudovoj navigacionnoj apparatury dlja opredelenija statističeskikh harakteristik sudopotokov. *Transportnoe delo Rossii*. 2015;(6):156-158.
12. Brodskij P. G., Rumjancev Ju.V., Nekrasov S.N. K voprosu ocenki vlijanija intensivnosti sudohodstva na avarijnost'. *Navigacija i gidrografija*. 2010;(30):36-42.
13. MarineTraffic [Web]. – Rezhim dostupa: <http://www.marinetraffic.com> (data obrashhenija: 01.11.19).
14. ADS-B Technologies Website [Web]. – Rezhim dostupa: <http://www.ads-b.com> (data obrashhenija: 01.11.19).
15. Zhao L., Shi G., Yang J. Ship Trajectories Pre-processing Based on AIS Data. *Journal of Navigation*. 2018;5(71):1210-1230. DOI: 10.1017/S0373463318000188.
16. Grinyak V.M., Devjatisil'nyj A.S., Trofimov M.V. Vizual'noe predstavlenie parametrov traektorii bezopasnogo dvizhenija sudna. *Morskie intellektual'nye tehnologii*. 2016;1-3(33):269-273.
17. Grinyak V.M., Ivanenko Ju.S., Devjatisil'nyj A.S. Vizualizacija parametrov traektorii bezopasnogo dvizhenija sudna. *Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy*. 2016;8(14):52-60.
18. Degre T., Lefevre X. A collision avoidance system. *Journal of Navigation*. 1981;2(34):294-302. DOI: 10.1017/S0373463300021408.

19. Szlapczynski R., Szlapczynska J. A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions. *Journal of Navigation*. 2015;6(68):1041-1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296.
20. Golovchenko B.S., Grinyak V.M. Informacionnaja sistema sbora dannyh o dvizhenii sudov na morskoy akvatorii. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 2014;2(24):156-162.
21. Wu L., Xu Y., Wang Q., Wang F., Xu Zh. Mapping global shipping density from AIS data. *Journal of Navigation*. 2016;1(70):67-81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.
22. Ol'hovik E.O. Issledovanie plotnosti transportnyh potokov 2018 goda v akvatorii Severnogo morskogo puti. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2018;5(10): 975-982.
23. Weng J., Xue S. Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study. *Journal of Navigation*. 2015;3(68):602-618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
24. Grinyak V.M., Devjatisil'nyj A.S., Ljul'ko V.I. Ocenka opasnosti trafika morskoy akvatorii po dannym Avtomaticheskoy identifikacionnoj sistemy. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2017;(4):681-690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
25. Grinyak V.M., Ivanenko Ju.S. Ispol'zovanie dannyh AIS dlja ocenki opasnosti kollektivnogo dvizhenija na morskoy akvatorii. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2017;(3).
26. Zhao L., Shi G. Maritime Anomaly Detection using Density-based Clustering and Recurrent Neural Network. *Journal of Navigation*. 2019;4(72):894-916. DOI: 10.1017/S0373463319000031.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Гриняк Виктор Михайлович, д-р. техн. наук, доцент, кафедра Информационных технологий и систем, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, Российская Федерация.
e-mail: victor.grinyak@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0549-230X

Victor M. Grinyak, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Information Technologies Department, Federal State State-financed Educational Institution of Higher Education “Vladivostok State University of Economics and Service”, Vladivostok, Russian Federation

Иваненко Юрий Сергеевич, аспирант, кафедра Прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения, ФГАОУ ВО «Дальневосточный Федеральный университет», Владивосток, Российская Федерация.
e-mail: yurown92@yahoo.com

Yury S. Ivanenko, PhD Student, Applied Mathematics, Mechanics, Control and Software Department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Far Eastern Federal University”, Vladivostok, Russian Federation

Люлько Виктор Иванович, старший преподаватель, кафедра Информационных технологий и систем, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, Российская Федерация.
e-mail: viktor.lyulko@vvsu.ru

Victor I. Lulko, Senior Lecturer, Information Technologies Department, Federal State State-financed Educational Institution of Higher Education “Vladivostok State University of

Economics and Service”, Vladivostok, Russian Federation

Шуленина Алёна Викторовна, аспирант, кафедра Прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения, ФГАОУ ВО «Дальневосточный Федеральный университет», Владивосток, Российская Федерация.

e-mail: shuleninaav@mail.ru

Шурыгин Артём Владимирович, аспирант, сектор Управления и навигации, ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук», Владивосток, Российская Федерация.

e-mail: show.vars@gmail.com

Alena V. Shulenina, PhD Student, Applied Mathematics, Mechanics, Control and Software Department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Far Eastern Federal University", Vladivostok, Russian Federation

Artem V. Shurygin, PhD Student, Navigation and Control Department, Federal State State-financed Institution of Science "Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch Russian Academy of Science", Vladivostok, Russian Federation