

УДК 519.68:15:681.5

В. М. Гриняк<sup>1</sup>

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса  
Владивосток. Россия

Ю. С. Иваненко<sup>2</sup>

А. В. Шуленина<sup>3</sup>

Дальневосточный федеральный университет  
Владивосток. Россия

## **Комплексная оценка опасности трафика морской акватории**

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

---

<sup>1</sup> Гриняк Виктор Михайлович – д-р техн. наук, профессор кафедры информационных технологий и систем; e-mail: Viktor.Grinyak@vvsu.ru

<sup>2</sup> Иваненко Юрий Сергеевич – ассистент кафедры прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения ДВФУ; e-mail: yugown92@yahoo.com

<sup>3</sup> Шуленина Алена Викторовна – аспирант кафедры прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения ДВФУ; e-mail: Shuleniinaav@mail.ru

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 Токийском заливе и их обсуждением. Показано, что предложенная система метрик позволяет сформировать систематизированное представление о степени опасности трафика, реализуемого на акватории.

**Ключевые слова и словосочетания:** безопасность судоходства; интенсивность движения; траектория движения; скорость; курс; трафик акватории; АИС.

V.M. Grinyak

Vladivostok State University of Economics and Service

Vladivostok. Russia

Yu.S. Ivanenko

A.V. Shulenina

Far Eastern Federal University

Vladivostok. Russia

## Multi-measure estimation of navigation safety for marine area

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 Tokyo Bay 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; speed; course; traffic area; AIS.

**Введение.** Навигационная безопасность является центральной проблемой организации движения морского транспорта. Рост интенсивности судоходства обуславливает необходимость постоянного совершенствования инструментов

обеспечения безопасности движения [4]. Так, в последнее время расширяется трактовка положений Международных правил предупреждения столкновений судов в море (МППСС-72) [1]; углубляется интеграция бортовых и береговых средств навигации с информационными системами смежных служб (е-Навигация) [2; 5]; усиливается автоматизация и интеллектуализация бортовых и береговых средств поддержки принятия решений [15; 16]; формируются качественно новые подходы к организации движения, ориентированные на внедрение в перспективе беспилотных водных транспортных средств [11].

С точки зрения специфики решаемых задач следует выделить два аспекта обеспечения навигационной безопасности. Первый связан с движением из порта отправления к порту назначения по заданному маршруту, когда число судов, одновременно присутствующих на текущем участке акватории, невелико. В этом случае на борту судна решаются задачи оценки риска и предупреждения опасного сближения с большей или меньшей степенью автоматизации этого процесса [21]. Второй аспект связан с движением по локальной акватории в условиях интенсивных разнонаправленных судопотоков. В этом случае судоводителями дополнительно решаются задачи планирования пути, в том числе с учётом ограничений, накладываемых определённой схемой движения [19].

Задача выработки таких схем движения окончательно сформировалась в середине 50-х годов [12; 13], когда на гражданском флоте была массово внедрена радиолокационная техника, дающая возможность достаточно точно определять местоположение 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 [3]:

- 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 идентификацион-

ной 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 [20].

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.

### Основные модельные представления

В основе Автоматической идентификационной системы лежат технологии автоматического зависимого наблюдения в режиме радиовещания (ADS-B) и мультилатерации (MLAT) [17]. 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 [26].

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

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

где *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, предоставляемым ресурсами типа [20], 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

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

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

где *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 на 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»*. 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 находиться как внутри участка, так и 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 «насыщении» пропускной способности трафика на выбранном участке акватории.

Возможна геометрическая интерпретация метрики «насыщенность трафика» [7; 8]. В этом случае опасные и безопасные значения параметров движения судна представляются известной диаграммой «скорость–курс» (диаграмма «области манёвра» Дегре и Лефевра [18; 22]).

## Результаты

Предложенные метрики оценки навигационной безопасности движения были апробированы на данных целого ряда характерных морских акваторий. В качестве примера ниже представлены результаты для акватории Токийского залива. Анализировались данные о движении судов в течение суток, собранные с ресурса [20] с помощью специальной программной системы [6]. Акватория разбивалась на квадраты размером 0,5 км.

На рисунке 1 показан результат оценки значений метрики «Интенсивность движения». Бледно-серым цветом показаны участки с интенсивностью от 0,2 судов в час, темно-серым – свыше 1 судна в час. Метрика хорошо показывает основные трассы, по которым происходит движение в заливе: направления «север-юг» и «запад-восток» в устье пролива, подходы к портам Йокогама и Чибя. Видно, что в целом интенсивность движения в заливе довольно высока и характеризуется четко выделенными фарватерами.

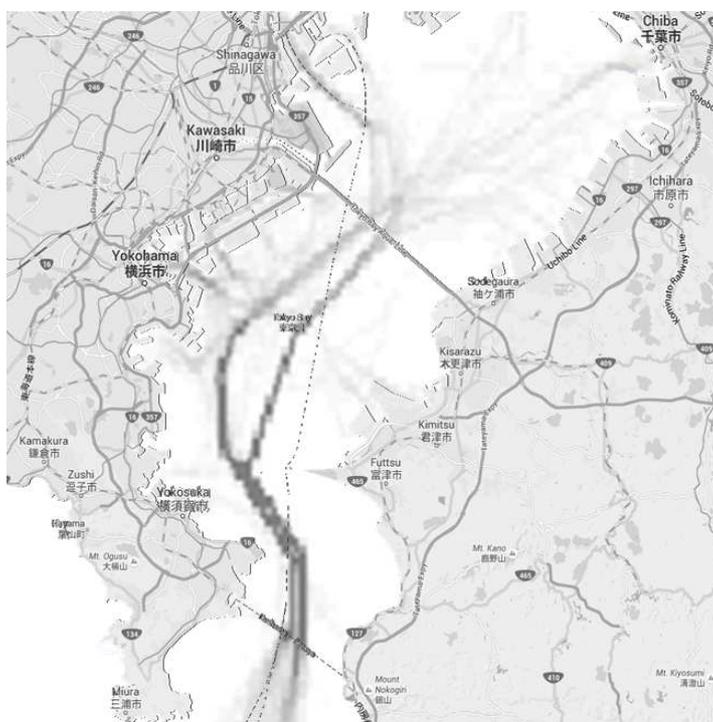


Рис. 1. Значения метрики «Интенсивность движения» (Токийский залив)

На рисунке 2 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 (темные точки соответствуют значениям метрики от 1 до 3 «скоростных» судов в час). В основном это трассы фарватеров в направлении «север-юг» и акватория, прилегающая к порту Йокогама.

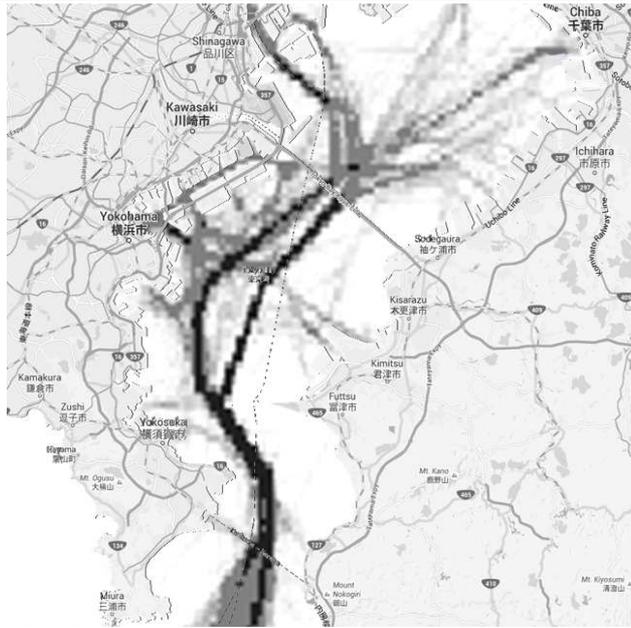


Рис. 2. Значения метрики «Интенсивность плюс скорость движения» (Токийский залив)

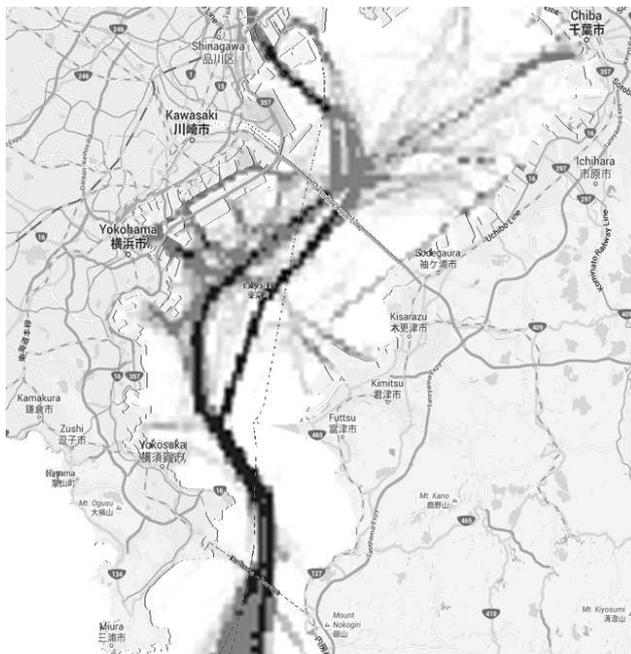


Рис. 3. Значения метрики «Интенсивность плюс размеры судов» (Токийский залив)

На рисунке 3 показаны вычисленные значения метрики «Интенсивность плюс размеры судов». Вес судна увеличивался на 1 за каждые 100 м длины. Хо-

рошо видны участки, где высока доля судов большой размерности (темные точки соответствуют значениям метрики от 1 до 3 «больших» судов в час). Видна явная корреляция рис. 2 и 3. Это означает, что на выбранной траектории самые большие суда одновременно и самые скоростные.

На рисунке 4 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-серый цвет соответствует среднеквадратичному отклонению курсов судов менее  $10^\circ$ , серый – от  $20$  до  $30^\circ$ , темно-серый – более  $30^\circ$ . Видно, что большой «разброс» курсов судов имеет место в зоне пересечения судопотоков и в зонах поворота судов.

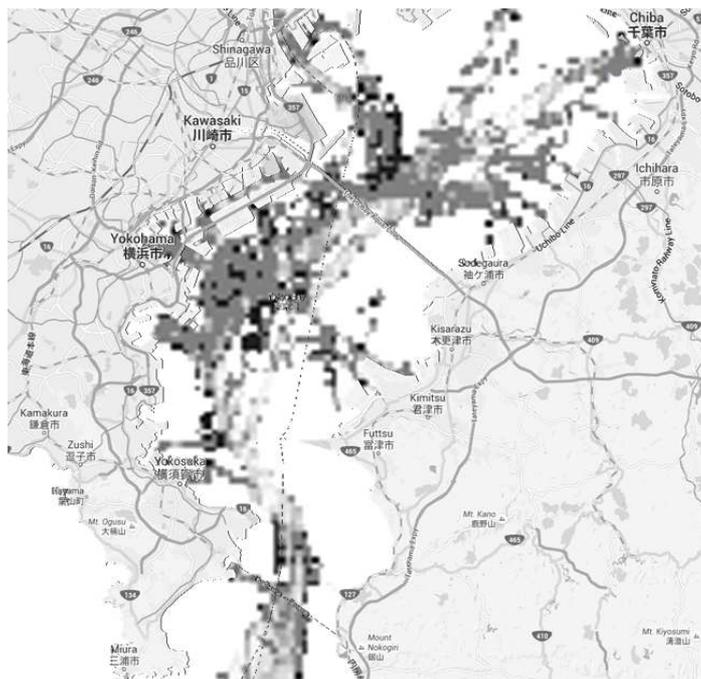


Рис. 4. Значения метрики «Стабильность параметров движения» (Токийский залив)

На рисунке 5 показаны вычисленные значения метрики «Насыщенность трафика». Показаны значения доли опасных значений скоростей и курсов судов. Светло-серый цвет соответствует значениям от 20 до 50%, серый – от 50 до 80%, темно-серый – от 80 до 90%, темный – свыше 100%. Видно, что в целом акватория характеризуется высокой насыщенностью трафика: начиная от устья залива и практически на протяжении всех фарватеров и зон, прилегающих к портам Йокосуки, Йокогамы, Чибы, доля опасных скоростей и курсов превышает 80%. Это свидетельствует о том, что Токийский залив относительно «трусен» для судовождения и требует постоянного повышенного внимания судоводителей и операторов береговых служб.

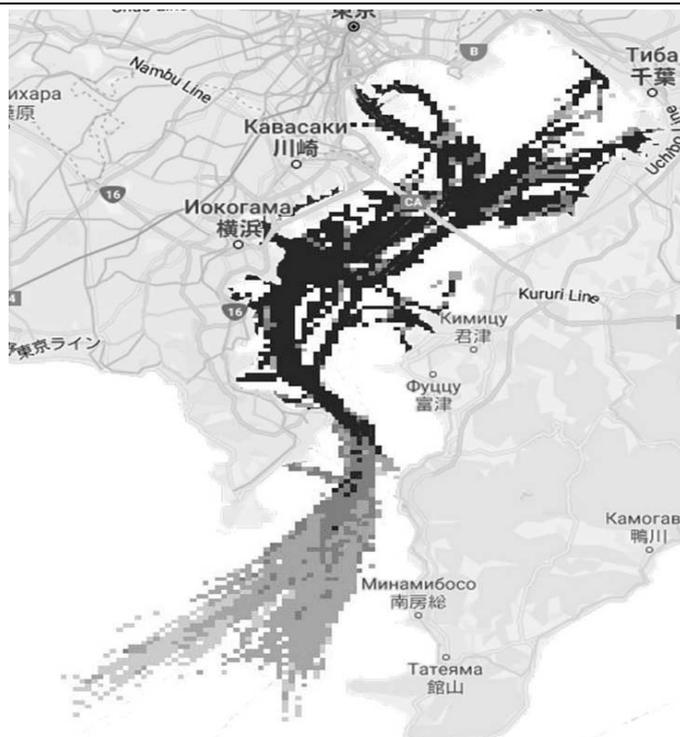


Рис. 5. Значения метрики «Насыщенность трафика» (Токийский залив)

Каждая из рассмотренных метрик раскрывает одну из сторон комплексного и многозначного понятия «безопасность движения». Оценка интенсивности движения – традиционный подход, реализованный, например, в работах [14; 24] и на ресурсе [20]. Рассмотренные в настоящей статье 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.

Известна метрика опасности движения на акватории, связанная с оценкой характерной частоты наступления опасных ситуаций [9; 10; 23]. По существу, при этом происходит моделирование работы системы предупреждения столкновений. Метрика позволяет определять проблемные участки акваторий, характеризующиеся высокой нагрузкой на судоводителей. Её недостатком является отсутствие механизма, позволяющего дать рекомендации по снижению загруженности.

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.

Метрику «Насыщенность трафика» можно интерпретировать по-разному. С одной стороны, она характеризует формальную возможность изменения курса и скорости судна без создания помех другим участникам движения, с другой – сложность принятия решения судоводителями, работающими как «на борту» (капитан судна), так и «на берегу» (оператор береговой системы). В этом смысле 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. Следует также отметить, что метрика «Насыщенность трафика» характеризуется высокой вычислительной сложностью алгоритма. Так, для формирования рис. 5 потребовалось более трёх 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 термами «высокий» и «низкий». Введём величину «уровень опасности движения», которая принимает значения от 1 до 20 согласно системе правил таблицы.

*Таблица*

#### 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

Уровень опасности движения	Интенсивность	Интенсивность плюс размеры	Интенсивность плюс скорость	Стабильность	Насыщенность
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, учитывать 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

1. 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 5 таких различных метрик, дополняющих друг друга, а также комплексная оценка безопасности на их основе.

2. 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.

3. Для оценки рассмотренных в работе метрик необходимы данные о движении судов от нескольких десятков часов до нескольких суток. Так, для формирования рис. 1–5 были обработаны массивы из 2 млн записей вида (1). Для высоконагруженных акваторий характерны объёмы данных 10–50 млн записей. Оценка безопасности движения в таких районах требует разработки специаль-

ных программных систем и алгоритмов на основе технологий суперкомпьютеров и больших данных.

4. 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.

1. 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. С. 7–17.
2. 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). С. 69–79.
3. Бродский П.Г., Румянцев Ю.В., Некрасов С.Н. К вопросу оценки влияния интенсивности судоходства на аварийность // Навигация и гидрография. 2010. № 30. С. 36–42.
4. Гагарский Э.А., Козлов С.Г., Кириченко С.А. Безопасность судоходства при проектировании морского порта // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. № 1. С. 14–18.
5. Развитие средств навигационного оборудования прибрежной зоны Российской Федерации в соответствии с концепцией e-Навигации / Е.П. Гладских, В.Н. Костин, В.А. Максимов, Ю.М. Репин // Навигация и гидрография. 2016. № 43. С. 13–21.
6. 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). С. 156–162.
7. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Трофимов М.В. Визуальное представление параметров траектории безопасного движения судна // Морские интеллектуальные технологии. 2016. № 1–3 (33). С. 269–273.
8. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С., Девятисильный А.С. Визуализация параметров траектории безопасного движения судна // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14, № 8. С. 52–60.
9. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С. Использование данных АИС для оценки опасности коллективного движения на морской акватории // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. №3. С. 18.
10. 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. С. 681–690.
11. 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. Т. 9, № 6. С. 1149–1158.
12. Лентарёв А.А. Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания: учебное пособие. – Владивосток: Морской государственный университет, 2004. – 114 с.
13. Лентарёв А.А., Максимов М.О. Применение судовой навигационной аппаратуры для определения статистических характеристик судопотоков // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 156–158.

14. 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. Т. 10, № 5. С. 975–982.
15. 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). С. 106–114.
16. Шолохова А.А. Поиск аномалий в сенсорных данных на примере анализа движения морского судна // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. №3. С. 19.
17. ADS-B Technologies. – Текст: электронный // ADS-B Technologies Website. – URL: <http://www.ads-b.com> (дата обращения: 01.01.2020).
18. Degre T., Lefevre X. A collision avoidance system // Journal of Navigation. 1981. Vol. 34, Is. 2. P. 294–302. DOI: 10.1017/S0373463300021408.
19. Lyu H., Yin Y. COLREGS-Constrained Real-time Path Planning for Autonomous Ships Using Modified Artificial Potential Fields // Journal of Navigation. 2019. Vol. 72, Is. 3. P. 588–608. DOI: 10.1017/S0373463318000796.
20. MarineTraffic. – Изображение: электронное // MarineTraffic. – URL: <http://www.marinetraffic.com> (дата обращения: 01.01.2020).
21. 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. Vol. 62, Is. 3. P. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
22. Szlapczynski R., Szlapczynska J. A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions // Journal of Navigation. 2015. Vol. 68, Is. 6. P. 1041–1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296.
23. Weng J., Xue Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study // Journal of Navigation. 2015. Vol. 68, Is. 3. P. 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
24. 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. P. 67–81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.
25. Zhao L., Shi Maritime Anomaly Detection using Density-based Clustering and Recurrent Neural Network // Journal of Navigation. 2019. Vol. 72, Is. 4. P. 894–916. DOI: 10.1017/S0373463319000031.
26. Zhao L., Shi G., Yang Ship Trajectories Pre-processing Based on AIS Data // Journal of Navigation. 2018. Vol. 71, Is. 5. P. 1210–1230. DOI: 10.1017/S0373463318000188.

#### Транслитерация

1. Astrein V. V. Sistemy preduprezhdeniya stolknovenij sudov, tendencii razvitiya (k 40-letiyu MPPSS-72) // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2012. № 1. P. 7–17.
2. Boran-Keshish'yan S. L. Optimizaciya sudovyh putej pri kupirovanii neblagopriyatnyh pogodnyh uslovij v koncepcii edinogo informacionnogo polya e-Navigacii // Ekspluataciya morskogo transporta. 2018. № 2 (87). P. 69–79.
3. Brodskij P. G., Romyancev Yu. V., Nekrasov S. N. K voprosu ocenki vliyaniya intensivnosti sudohodstva na avarijnost' // Navigaciya i gidrografiya. 2010. № 30. P. 36–42.
4. Gagarskij E. A., Kozlov S. G., Kirichenko S. A. Bezopasnost' sudohodstva pri proektirovanii morskogo porta // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2018. № 1. P. 14–18.
5. Razvitie sredstv navigacionnogo oborudovaniya pribrezhnoj zony Rossijskoj Federacii v sootvetstvii s koncepciej e-Navigacii / E. P. Gladskih, V. N. Kostin, V. A. Maksimov, Yu. M. Repin // Navigaciya i gidrografiya. 2016. № 43. P. 13–21.

6. Golovchenko B.S., Grinyak V.M. Informacionnaya sistema sbora dannyh o dvizhenii sudov na morskoy akvatorii // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2014. № 2 (24). P. 156–162.
7. Grinyak V.M., Devyatisil'nyj A.S., Trofimov M.V. Vizual'noe predstavlenie para-metrov traektorii bezopasnogo dvizheniya sudna // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2016. № 1–3 (33). P. 269–273.
8. Grinyak V.M., Ivanenko Yu.S., Devyatisil'nyj A.S. Vizualizaciya parametrov traektorii bezopasnogo dvizheniya sudna // Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2016. T. 14, № 8. P. 52–60.
9. Grinyak V.M., Ivanenko Yu.S. Ispol'zovanie dannyh AIS dlya ocenki opasnosti kollektivnogo dvizheniya na morskoy akvatorii // Modelirovanie, optimizaciya i in-formacionnye tekhnologii. 2017. №3. P. 18.
10. Grinyak V.M., Devyatisil'nyj A.S., Lyul'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. P. 681–690.
11. Dmitriev V.I., Karetnikov V.V. Metody obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya pri vnedrenii bespilotnyh tekhnologij // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2017. T. 9, № 6. P. 1149–1158.
12. Lentaryov A.A. Morskie rajony sistem obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya: uchebnoe posobie. – Vladivostok: Morskoy gosudarstvennyj universitet, 2004. – 114 p.
13. Lentaryov A.A., Maksimov M.O. Primenenie sudovoj navigacionnoj apparatury dlya opredeleniya statisticheskikh harakteristik sudopotokov // Transportnoe delo Rossii. 2015. № 6. P. 156–158.
14. 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. T. 10, № 5. P. 975–982.
15. Sedova N.A., Sedov V.A., Levchenko N.G. Ocenka stepeni opasnosti nablyudaemoj celi na more s ispol'zovaniem sistem iskusstvennogo intellekta // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2017. № 3–4 (38). P. 106–114.
16. Sholohova A.A. Poisk anomalij v sensoryh dannyh na primere analiza dvizheniya morskogo sudna // Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii. 2017. № 3. P. 19.

© В.М. Гриняк, 2020

© Ю.С. Иваненко, 2020

© А.В. Шуленина, 2020

**Для цитирования:** Гриняк В.М., Иваненко Ю.С., Шуленина А.В. Комплексная оценка опасности трафика морской акватории // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2020. Т. 12, № 1. С. 90–104.

**For citation:** Grinyak V.M., Ivanenko Yu.S., Shuleniina A.V. Multi-measure estimation of navigation safety for marine area, *The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service*, 2020, Vol. 12, № 1, pp. 90–104.

DOI [dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/090-104](https://dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/090-104)

Дата поступления: 09.01.2020.