

Научная статья

УДК 004.8

DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-2/212-227>

EDN: <https://elibrary.ru/BHUWNQ>

## Метрики оценки напряженности движения судов на морской акватории с интенсивным трафиком

**Артемьев Андрей Владимирович**

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

Владивосток. Россия

**Гриняк Виктор Михайлович**

Владивостокский государственный университет

Владивосток. Россия

**Иваненко Юрий Сергеевич**

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток. Россия

**Шуленина Алёна Викторовна**

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

Владивосток. Россия

***Аннотация.** Рассмотрена проблема оценки безопасности движения на морских акваториях. Традиционно это делается в рамках интерпретации понятия напряжённости движения судов. Существуют математические модели вероятностного типа для представления этого понятия, однако их прямое использование для практического решения задачи в условиях ограниченных вод затруднено. Альтернативным подходом для оценки безопасности акватории является введение системы показателей – метрик, характеризующих тот или иной аспект напряжённости движения на основе обработки ретроспективных траекторных данных. Описываются возможные источники таких данных и их особенности: состав, дискретность, изменчивый период обновления, необходимость дополнения пропущенных записей. Предложена система из четырёх метрик оценки напряжённости движения судов: интенсивность движения судов, интенсивность движения с учетом скорости судов, интенсивность движения с учетом размеров судов, стабильность параметров движения судов. Приводятся результаты расчетов этих метрик на ряде реальных акваторий: Сангарский пролив, Токийский залив, Пусан и Внутреннее Японское море. Указывается на возможный подход к определению интегрированной метрики. Делается вывод о продуктивности предложенного метода оценки напряжённости движения для практики: возможно определить систему метрик, способных дать информативную картину*

© Артемьев А.В., 2025

© Гриняк В.М., 2025

© Иваненко Ю.С., 2025

© Шуленина А.В., 2025

об особенностях трафика акватории с точки зрения нагрузки на судоводителей и навигационной безопасности.

**Ключевые слова:** безопасность судовождения, напряжённость плавания, интенсивность движения, судопоток, трафик акватории, Автоматическая идентификационная система.

**Для цитирования:** Метрики оценки напряженности движения судов на морской акватории с интенсивным трафиком / А.В. Артемьев, В.М. Гриняк, Ю.С. Иваненко, А.В. Шуленина // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2025. Т. 17, № 2. С. 212–227. DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-2/212-227>. EDN: <https://elibrary.ru/BHUWNQ>

.....

## Technical sciences

.....

Original article

### Metrics for vessel traffic intensity assessing in a marine area

**Andrey V. Artemyev**

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy

Vladivostok, Russia

**Victor M. Grinyak**

Vladivostok State University

Vladivostok, Russia

**Yuryi S. Ivanenko**

Far Eastern Federal University

Vladivostok, Russia

**Alena V. Shulenina**

Institute of Automation and Control Processes FEBRAS

Vladivostok, Russia

**Abstract.** *The paper is devoted to the problem of assessing the safety of traffic in marine waters. Traditionally, this is done within the framework of interpreting the concept of vessel traffic density. There are probabilistic mathematical models for representing this concept. However, direct use of these models for practical solutions of the problem in conditions of limited waters is difficult. An alternative approach to assessing the safety of a water area is the introduction of a system of indicators – metrics characterizing a particular aspect of traffic density based on the processing of retrospective trajectory data on vessel traffic. The article describes possible sources of such data and their features: composition, discreteness, variable update period, the need to supplement missing records. A system of four metrics for assessing the density of vessel traffic is proposed: vessel traffic intensity, traffic intensity considering vessel speed, traffic intensity taking into account vessel size, and stability of vessel traffic parameters. The results of calculating these metrics for a few real water areas are presented: the Tsugaru Strait, Tokyo Bay, Busan, and the Seto Inland Sea. A possible approach to defining an integrated metric is discussed. A conclusion is made about the productivity of the proposed approach for practice: it is possible to define a system of metrics that can provide an informative picture of the characteristics of water area traffic in terms of the workload of navigators and navigation safety.*

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

**For citation:** *Metrics for vessel traffic intensity assessing in a marine area / A.V. Artemyev, V.M. Grinyak, Yu.S. Ivanenko, A.V. Shulenina // The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University. 2025. Vol. 17, № 2. P. 212–227. DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-2/212-227>. EDN: <https://elibrary.ru/BHUWNQ>*

### Введение

Классические представления о движении судов на морских акваториях связаны с понятием судопотока. В общем случае судопоток представляет собой сложную систему, элементом которой являются отдельные суда. Задача оценки опасности трафика морской акватории заключается в том, чтобы исходя из заданных критериев описать признаки судопотоков акватории как системы в целом. Эти свойства судопотоков носят интегрирующий характер и не могут быть применены к отдельным судам.

Одним из свойств судопотока, способным характеризовать опасность трафика, является напряжённость движения судов [1]. Она может определяться, например, интенсивностью и плотностью судопотока. Интенсивность судопотока – это количество судов, прошедших через какой-либо участок в единицу времени. Плотность судопотока – это количество судов, приходящихся на единицу длины или площади. Эти величины могут быть определены как непосредственно, так и с поправками на неоднородность размеров судов, составляющих судопоток [1, 2].

Изучение напряжённости движения судов на акватории имеет своей целью оценку как текущего уровня опасности трафика, так и его развития во времени (например, долгосрочной тенденции к росту или уменьшению либо годовых, сезонных, месячных и суточных колебаний). Исторически такие исследования велись путём сбора данных на основе визуального или радиолокационного наблюдения с берега или борта исследовательского судна. Классические работы в этой области были сделаны японскими учёными [3, 4]. В отечественной научной среде известны работы профессора С.Б. Олышамовского [5, 6], а также большой группы учёных под руководством профессора С.Г. Погосова, проводивших исследования движения судов в акваториях, прилегающих к морским портам нашей страны [7–9]. В настоящее время, с развитием сервисов Автоматической идентификационной системы (АИС), появилась возможность изучать напряжённость движения, используя глобальные хранилища навигационных данных. Например, сервис *marinetraffic.com* даёт возможность получить наглядное представление о характере судоходства в том или ином районе путём оценки интенсивности движения судов.

Использование траекторных данных сервисов АИС для оценки напряжённости плавания требует разработки специфических математических моделей, методов и алгоритмов. В настоящей работе рассматриваются особенности данных о движении судов, предоставляемых глобальными хранилищами, описываются математические модели опасности трафика акватории, основанные на метриках интенсивности и стабильности движения, приводятся и анализируются примеры расчетов напряжённости плавания на некоторых акваториях. Работа направлена на решение известной проблемы планирования схем безопасного движения на морских акваториях [1]. Целью исследования является демонстрация возможности использования навигационных данных, предоставляемых глобальными сервисами-агрегаторами, для оценки актуальной напряжённости плавания на той или иной акватории.

### Основная часть

Среди существующих моделей напряжённости плавания наиболее обобщённой является модель, описанная А.А. Лентарёвым [1]. Она основана на интегральной оценке вероятности встречи и вероятности опасного сближения судов. Пусть судно  $B$  движется со скоростью  $V_B$  и курсом  $K_B$ . Судно  $B$  пересекает район, в котором находится  $N_A$  судов  $A$  со случайными курсами  $K_A$  и скоростями  $V_A$ , характеризующихся функциями распределения вероятностей  $F(K_A)$ ,  $F(V_A)$  и функциями плотности распределения вероятностей  $f(K_A)$ ,  $f(V_A)$ . Положение судов  $A$  относительно судна  $B$  может быть задано пеленгом  $U$  и расстоянием  $D$  – случайными величинами с функциями распределения вероятностей  $F(U)$ ,  $F(D)$  и функциями плотности распределения вероятностей  $f(U)$ ,  $f(D)$ . Величина  $U$  чаще всего распределена равномерно (суда  $A$  окружают судно  $B$  равномерно со всех сторон), а величина  $D$  – экспоненциально или квадратично (при равномерном распределении судов  $A$  по акватории их число увеличивается с расстоянием).

При пересечении судном  $B$  района условием его встречи с каким-либо судном  $A$  является: во-первых, его сближение на кратчайшее расстояние  $R_{CPA}$ , меньшее размера круговой зоны навигационной безопасности  $R$ ; во-вторых, время до сближения на кратчайшее расстояние  $T_{CPA}$  должно быть меньше времени нахождения  $t_B$  судна в районе.

Вероятность встречи судна  $B$  с каким-либо судном  $A$  можно найти, если знать вероятности событий  $R_{CPA} < R$  и  $T_{CPA} < t_B$ . Обозначим эти вероятности  $P_A$  и  $P_B$  соответственно. Они являются функциями  $R_{CPA}$  и  $T_{CPA}$ , которые в свою очередь представляют собой случайные величины, зависящие от других случайных величин:  $K_A$ ,  $V_A$ ,  $U$  и  $D$ . Если все эти функциональные зависимости известны, то можно получить функции распределения вероятностей  $F_R(R_{CPA})$  и  $F_t(T_{CPA})$ , используя стандартные методы теории вероятностей. В общем случае принято считать, что величина  $V_A$ , как правило, распределена нормально, а величина  $K_A$  – равномерно. Вместе с тем для конкретных районов плавания необходимо проводить статистические исследования распределений величин  $K_A$ ,  $V_A$ ,  $U$  и  $D$ .

Функции  $R_{CPA} = R_{CPA}(K_A, V_A, U, D)$  и  $T_{CPA} = T_{CPA}(K_A, V_A, U, D)$  могут иметь различный вид. Например, известен следующий вариант:

$$R_{CPA} = D \sin(K_0 - U),$$

$$T_{CPA} = D \cos(K_0 - U) / V_0,$$

где

$$K_0 = K_A \pm \arctg(V_B / V_A),$$

$$V_0 = \sqrt{V_B^2 + V_A^2 + 2V_B V_A \cos(K_B - K_A)}.$$

С учетом вышесказанного получение аналитического выражения для функций  $F_R(R_{CPA})$  и  $F_t(T_{CPA})$  хотя и возможно, но представляет собой довольно сложную задачу. В качестве альтернативы можно получить их численное пред-



ставление (например, в виде гистограммы) методами вычислительного моделирования. Если функции  $F_R(R_{CPA})$  и  $F_t(T_{CPA})$  известны, то вероятности событий  $P_A$  и  $P_B$  определяются как  $P_A = F_R(R)$  и  $P_B = F_t(t_B)$ , а вероятность встречи судна  $B$  с любым из судов  $A$  определяется как

$$P_C = P_A P_B = F_R(R) F_t(t_B).$$

Вероятность встречи  $P_C$  является показателем (метрикой) напряжённости плавания в выбранном районе. На её основе можно получить и другие показатели: общую (интегрированную) вероятность встречи в районе, вероятность встречи в единицу времени, вероятность встречи, нормализованную по расстоянию плавания, частоту встреч. Приведённые рассуждения справедливы для больших районов плавания (протяжённостью в несколько десятков миль), что позволяет не учитывать линейные размеры судов [10–12].

Имея в виду сложность оценки для реальных акваторий функций, определяющих вероятность встречи  $P_C$  в общем случае, особенно для ограниченных вод, рассмотрим альтернативные метрики напряжённости плавания, ориентированные на использование ретроспективных данных о движении судов.

Глобальные хранилища навигационных данных (типа *marinetraffic.com*) работают на основе информации, предоставляемой сервисами Автоматической идентификационной системы. Данные АИС о судне включают в себя географические координаты, курс, скорость, размеры, пункт отправления и назначения и целый ряд других. Для рассматриваемой задачи оценки напряжённости плавания положим, что на выделенной акватории задано множество записей:

$$\{Lon(t_i), Lat(t_i), Speed(t_i), Course(t_i)\}_j,$$

где  $j$  – индекс судна;  $Lon(t_i), Lat(t_i), Speed(t_i), Course(t_i)$  – соответственно долгота, широта, скорость и курс судна в дискретные моменты времени  $t_i$ .

Период обновления данных в хранилищах, с которым они доступны с помощью публичного API, обычно равен одной минуте. Характерный период между соседними моментами времени, по которым доступны данные для одного судна, составляет от одной до нескольких сотен минут; он зависит от характера движения судна. Так, для активно маневрирующего судна период между соседними записями траекторных данных равен 1–3 мин; для судна, длительное время движущегося с постоянными курсом и скоростью, период может быть значительно больше. «Пропущенные» координаты судна между моментами времени  $t_i$  и  $t_{i+1}$  могут быть оценены исходя из значений скорости и курса, зависящих от конкретной решаемой задачи эвристики [13].

На основе описанных ретроспективных данных могут быть рассчитаны следующие метрики, характеризующие напряжённость плавания: интенсивность движения судов, интенсивность движения с учетом скорости судов, интенсивность движения с учетом размеров судов, стабильность параметров движения судов. Для этого разобьем акваторию на квадратные (относительно географических координат) участки и дополним исходную выборку данных таким образом,

чтобы характерное расстояние между «соседними» положениями судна было меньше размера участка.

*Интенсивность движения судов.* Подсчитаем количество судов, прошедших через каждый участок. Для того чтобы сложность подсчёта была линейной относительно числа записей в выборке данных, используем следующий алгоритм. Представим интенсивность движения в виде матрицы  $A_{mn}$ , где  $m = \overline{1, M}$  и  $n = \overline{1, N}$  – номера колонок и «строк» (индексы), характеризующих положение участков, на которые разбивается акватория; начальные значения элементов матрицы равны 0. Пусть заданы географические координаты левого нижнего  $Lon_{min}$ ,  $Lat_{min}$  и правого верхнего  $Lon_{max}$ ,  $Lat_{max}$  угла акватории. Тогда для каждой записи  $\{Lon(t_i), Lat(t_i)\}$  будем иметь:

$$m = \left[ \frac{Lon(t_i) - Lon_{min}}{Lon_{max} - Lon_{min}} M \right] + 1,$$

$$n = \left[ \frac{Lat(t_i) - Lat_{min}}{Lat_{max} - Lat_{min}} N \right] + 1,$$

где  $\left[ \frac{Lon(t_i) - Lon_{min}}{Lon_{max} - Lon_{min}} M \right]$ ,  $\left[ \frac{Lat(t_i) - Lat_{min}}{Lat_{max} - Lat_{min}} N \right]$ , где  $[*]$  – оператор взятия целой части числа.

В том случае, если судно  $j$  ещё не было учтено на соответствующем элементу  $A_{mn}$  участке, значение элемента увеличивается на единицу:  $A_{mn} = A_{mn} + 1$ . Полученная таким образом матрица может использоваться для представления интенсивности движения на акватории либо «как есть», либо приведённой к единице времени.

*Интенсивность движения с учетом скорости судов.* Имея в виду описанный алгоритм расчёта интенсивности движения, положим, что суда, движущиеся быстро, дают «большой вклад» в напряжённость плавания, чем суда, движущиеся медленно. Для учёта скорости судна элемент матрицы  $A_{mn}$  увеличивается по следующему правилу:

$$A_{mn} = A_{mn} + \left[ \frac{Speed(t_i)}{Speed_*} \right] + 1,$$

где  $Speed_*$  – значение скорости судна, при которой метрика увеличивается на 1. Таким образом, быстро движущиеся суда как бы учитываются не один, а несколько раз.

*Интенсивность движения с учетом размеров судов.* Снова имея в виду описанный алгоритм расчёта интенсивности движения, положим, что большие суда дают «большой вклад» в напряжённость плавания, чем суда небольшого размера. Длину судна  $j$  обозначим как  $Length_j$ . Для учёта размера судна элемент матрицы  $A_{mn}$  увеличивается по следующему правилу:

$$A_{mn} = A_{mn} + \left[ \frac{\text{Length}_j}{\text{Length}_k} \right] + 1,$$

где  $\text{Length}_k$  – значение длины судна, при которой метрика увеличивается на 1. Таким образом, большие суда как бы учитываются не один, а несколько раз.

*Стабильность параметров движения судов.* Будем снова иметь в виду описанный алгоритм расчёта интенсивности движения. После вычисления для каждой записи индексов  $m$  и  $n$  сохраним значения скорости и курса в виде многомерных структур  $S_{mnk}$  и  $C_{mnk}$ , где  $S_{mnk}$  – значения скоростей судов, а  $C_{mnk}$  – значения курсов судов на соответствующем индексам  $m$  и  $n$  участке акватории. Диапазон изменения индекса  $k$  (обозначим его  $K_{mn}$ ) соответствует числу записей исходной выборки, относящихся тому или иному участку; будет разным для разных значений  $m$  и  $n$ .

Стабильность значений скорости и курса на том или ином участке акватории может оцениваться различными способами. Например, можно вычислить среднеквадратичное отклонение скорости и курса для каждого участка акватории:

$$(\sigma_s^2)_{mn} = \frac{\sum_k \left( S_{mnk} - \left( \frac{\sum_k S_{mnk}}{K_{mn}} \right) \right)^2}{(K_{mn} - 1)},$$

$$(\sigma_c^2)_{mn} = \frac{\sum_k \left( C_{mnk} - \left( \frac{\sum_k C_{mnk}}{K_{mn}} \right) \right)^2}{(K_{mn} - 1)}.$$

Ещё одним способом оценки стабильности значений скорости и курса является кластеризация их значений для каждого участка акватории с дальнейшей оценкой числа и размеров кластеров. Кластеризация делается одним из методов, не требующим задания числа кластеров (например, субтрактивная кластеризация). Такой подход более сложен, так как требует подбора параметров метода кластеризации [14].

Расчёты обсуждаемых здесь метрик напряжённости плавания проводились на основе реальных данных трафика четырёх акваторий: Сангарский пролив, Токийский залив, Пусан и Внутреннее Японское море. Данные о движении были собраны с помощью специально созданной программной системы [15, 16]. В таблице 1 приведена информация о некоторых параметрах обрабатываемых массивов данных.

Таблица 1

#### Характеристика обрабатываемых траекторных данных

| № п/п | Акватория                    | Период, сут | Количество записей | Размер ячейки, м |
|-------|------------------------------|-------------|--------------------|------------------|
| 1     | Сангарский пролив            | 1           | 300 тыс.           | 1000             |
| 2     | Токийский залив              | 1           | 1,2 млн            | 500              |
| 3     | Пусан                        | 1           | 1 млн              | 200              |
| 4     | Харимское море и залив Осака | 1           | 1,8 млн            | 1000             |

На рисунках 1–4 показаны результаты расчётов метрик напряжённости плавания для каждой траектории: интенсивность движения судов (см. рис. 1–4а), интенсивность движения с учетом скорости судов (см. рис. 1–4б), интенсивность движения с учетом размеров судов (см. рис. 1–4в), стабильность параметров движения судов (см. рис. 1–4г).

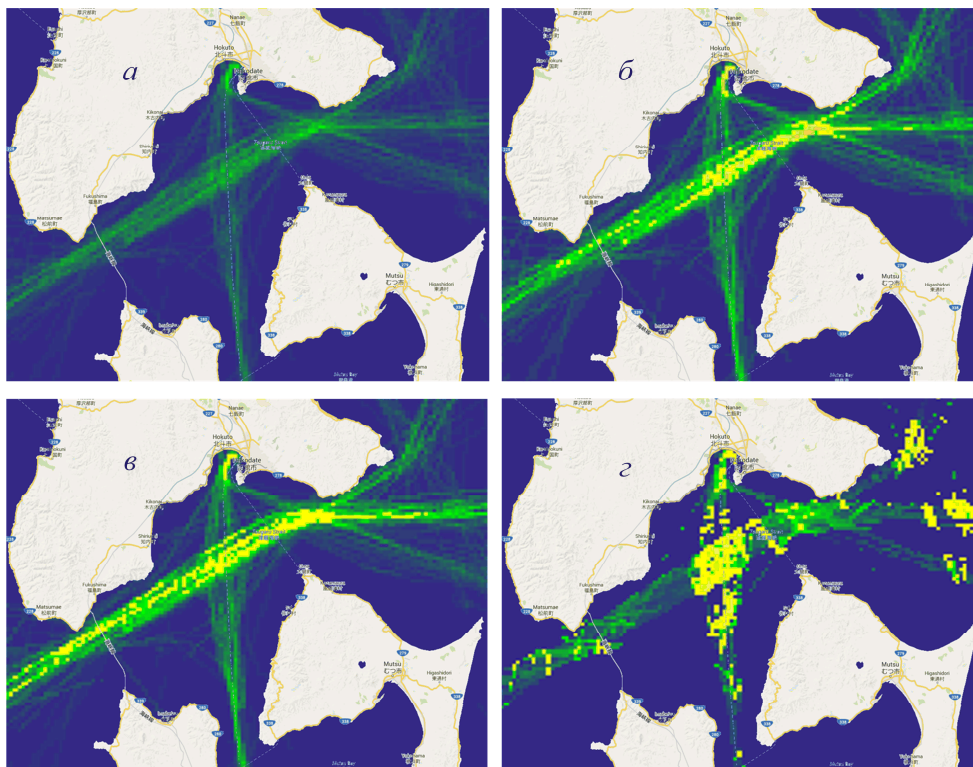


Рис. 1. Метрики напряжённости плавания (Сангарский пролив)

На рисунках 1–4а бледно-зелёным цветом показаны участки со значением метрики от 0–2 до 1/ч, ярко-зелёным – от 1 до 2/ч, желтым – от 2 до 3/ч, красным – свыше 3/ч.

При построении рис. 1–4б параметр  $Speed_*$  был взят равным 10 м/с, т.е. вклад скоростных судов в метрику увеличивался на 1 для каждых 10 м/с скорости. Для рисунков 1–4в параметр  $Length_*$  равен 100 м, т.е. вклад судов в метрику увеличивался на 1 каждые 100 м длины.

Для рисунков 1–4г оценивалось среднеквадратичное отклонение курсов судов. Цветом выделены участки, где число судов, прошедших за сутки, было не менее 3. Бледно-зелёный цвет соответствует среднеквадратичному отклонению курсов судов менее  $20^\circ$ , ярко зелёный – от  $20$  до  $30^\circ$ , жёлтый – от  $30$  до  $50^\circ$ , красный – свыше  $50^\circ$ .

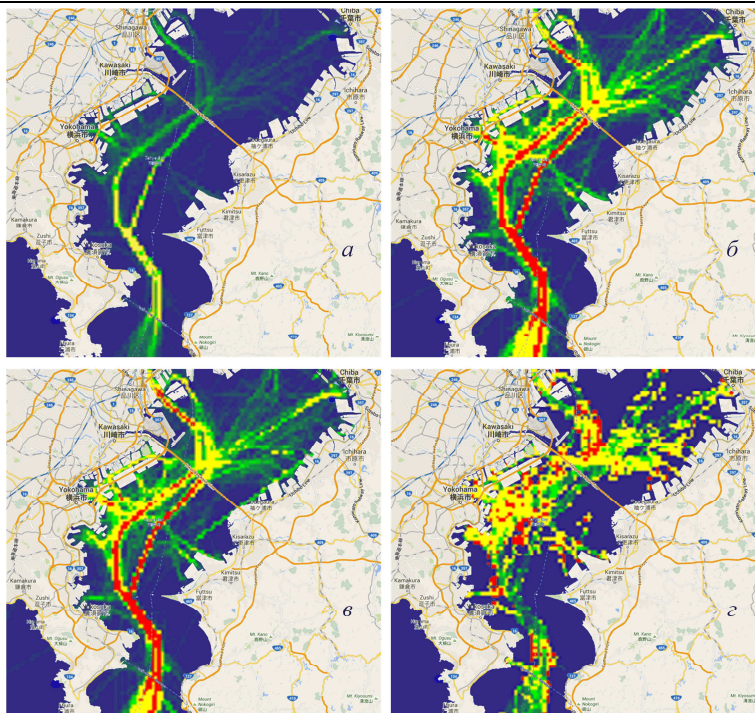


Рис. 2. Метрики напряжённости плавания (Токийский залив)

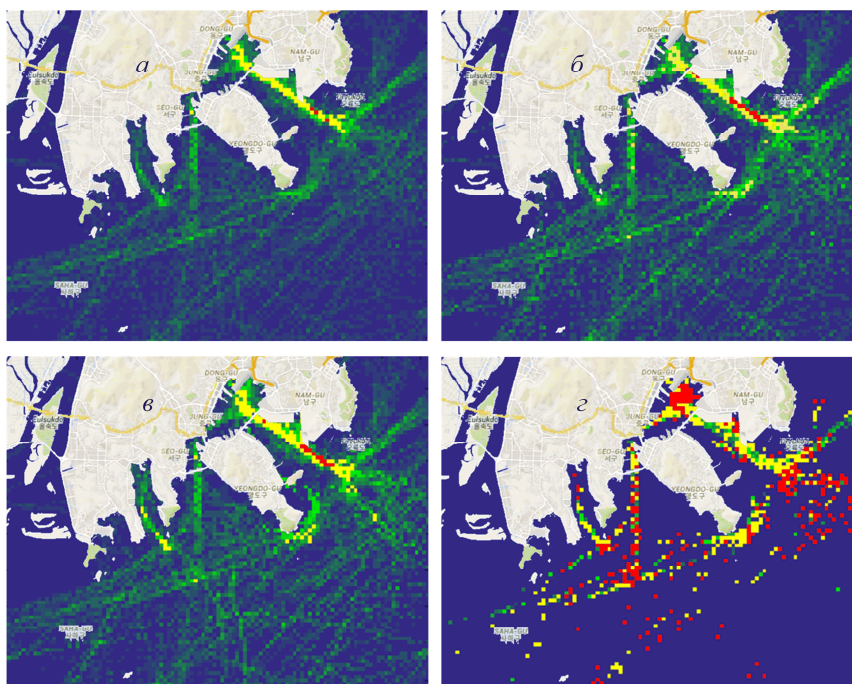


Рис. 3. Метрики напряжённости плавания (Пусан)



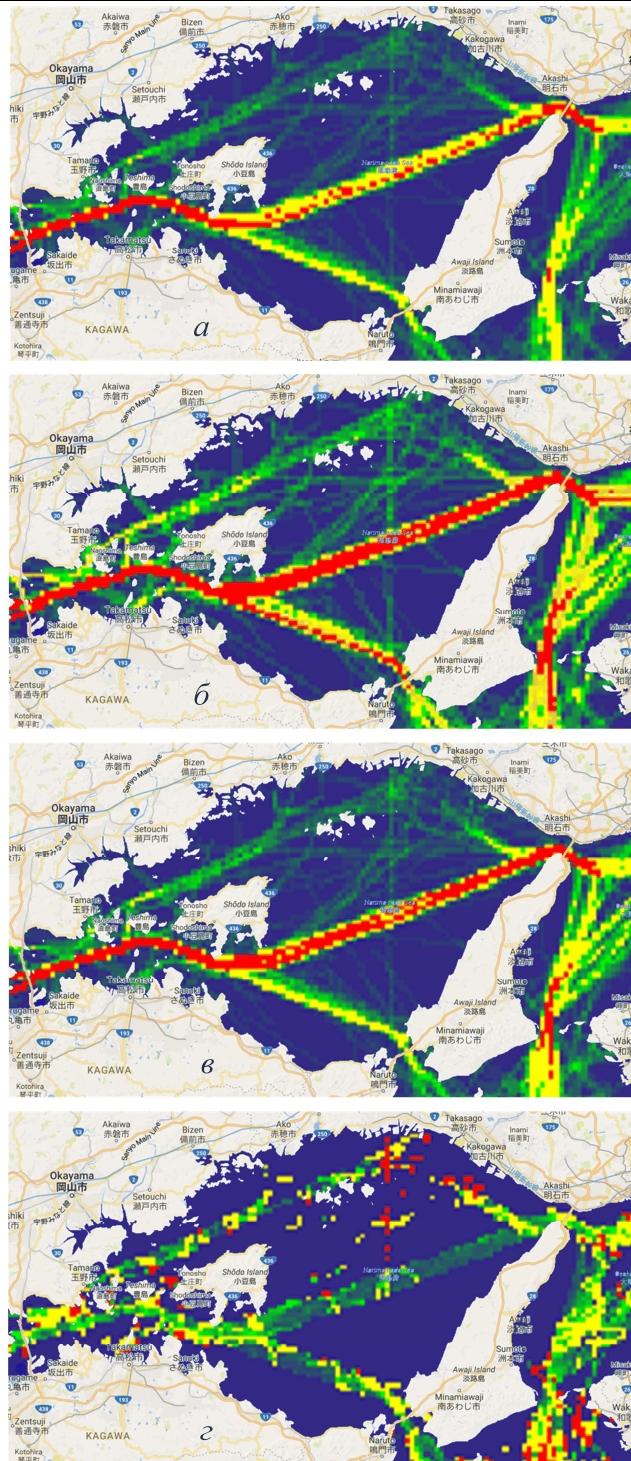


Рис. 4. Метрики напряжённости плавания (Харимское море и залив Осака)

Обработка данных для формирования рис. 1–4 проводилась на типовой ЭВМ общего назначения с использованием стандартных программных платформ. Несмотря на частичное распараллеливание алгоритмов, вычисления заняли достаточно продолжительное время (до 6 ч).

Предложенные метрики достаточно информативно представляют особенности трафика морских акваторий. Так, метрика *интенсивность движения судов* позволяет увидеть характерные маршруты судов через акваторию: в Сангарском проливе это движение между островами Хонсю и Хоккайдо (север-юг) и между Тихим океаном и Японским морем (запад-восток), в Токийском заливе – движение по выделенным фарватерам от устья залива до портов и Иокогаме, Токио и Чибэ, в районе Пусана – движение вдоль побережья к портам и т.д. Метрика *интенсивность движения с учетом скорости судов* показывает участки, где высокая скорость движения, а метрика *интенсивность движения с учетом размеров судов* – участки, где движутся самые большие суда. Хорошо видна корреляция рис. 1–4б, в; это означает, что на рассматриваемых акваториях одновременно самые большие суда и самые скоростные.

Интересны результаты оценки метрики *стабильность параметров движения судов*. Так, в Сангарском проливе курсы судов стабильны (см. рис. 1г), метрика увеличивается лишь в зонах пересечения судопотоков. В Токийском заливе и Пусане движение характеризуется хаотичностью (см. рис. 2г, 3г), велико число судов, пересекающих зоны судопотоков. Это может свидетельствовать о повышенной нагрузке на судоводителей и операторов береговых служб, необходимости изменения схем движения судов на этих акваториях. В Харимском море, напротив, данная метрика характеризуется сравнительно невысокими значениями (см. рис. 4г), что свидетельствует о хорошо подобранной схеме движения.

На рисунке 3 явно видна нерегулярность оценки всех четырёх метрик. Это означает, что данных недостаточно для стабильной оценки, необходимо увеличить объем ретроспективных траекторных данных для этой акватории.

На основе рассмотренных четырёх метрик может быть введена интегрированная метрика напряжённости плавания, например, на основе модельных представлений нечёткой логики. Дальнейшие направления исследований в этой области могут быть связаны с расширением набора метрик напряжённости плавания и их интерпретации для оценки опасности актуальной схемы движения и выработки рекомендаций по её изменению к менее опасным конфигурациям, увеличению пропускной способности акватории [17]. Работа представляет интерес и в контексте перспективного развития автономного судовождения [18, 19].

В последние годы повышенное внимание ученых привлекает весь комплекс исследовательских задач, прямо или косвенно связанных с анализом ретроспективных данных о движении судов. Исторически первой большой работой в этом направлении является статья [20], посвящённая особенностям траекторных данных, предоставляемых сервисами Автоматической идентификационной системы, и идеям прикладных задач, которые можно решать на их основе. В работе приводятся примеры оценки на основе ретроспективных данных областей якор-

ных стоянок, точек входа и выхода из акваторий, оценки конфигурации регулярных судопотоков и их интенсивности, оценки аномалий в движении судов.

В работе [21] рассматривается метод выявления аномального поведения судов с точки зрения характерных для того или иного участка акватории параметров движения; отмечено, что такие нормативные параметры могут использоваться для планирования маршрутов судов. В основу метода положен анализ ретроспективных данных о движении, в котором косвенно учитывается и плотность судопотока.

Статья [22] также посвящена задаче распознавания аномально движущихся судов; метод решения основан на использовании нейронных сетей. В работе представлен большой список ситуаций, считающихся аномалиями, даны рекомендации по составлению обучающих выборок и тестированию работы нейросети. Приводятся примеры расчетов по выявлению аномально движущихся судов в районе порта Тяньцзинь.

Несмотря на востребованность указанного направления исследований, вопросы оценки напряженности плавания в контексте опасности актуальных схем движения судов или планирования безопасных схем движения в опубликованных в последнее время работах не рассматриваются. Настоящее исследование призвано восполнить этот пробел.

### **Заключение**

Оценка напряженности движения судов метриками, связанными с интенсивностью и плотностью судопотока, является традиционным подходом к интерпретации этого явления. Имея в виду вероятностный характер как самого движения судов на акватории, так и оценок их траекторных параметров (скорости и курса) напряженность движения судов может быть описана математическими моделями классической теории вероятностей. Вместе с тем прямая численная оценка напряженности в рамках таких модельных представлений представляет достаточно сложную задачу. Перспективным путём упрощения задачи является обращение к ретроспективным данным о движении судов на акватории и интерпретация традиционных показателей напряженности метриками, связанными с обработкой больших массивов траекторных данных.

Рассмотрена система из четырёх метрик, характеризующих напряженность движения: интенсивность движения судов, интенсивность движения с учетом скорости судов, интенсивность движения с учетом размеров судов, стабильность параметров движения судов. Данные метрики, дополняя друг друга, способны дать информативную картину об особенностях трафика акватории с точки зрения нагрузки на судоводителей и навигационной безопасности.

Определённой проблемой рассмотренных алгоритмов является необходимость разбиения акватории на участки, что делает результаты расчётов зависимыми от размеров участков и «точки начала отсчёта». Устранение этого недостатка требует доработки и дальнейшего развития предложенных алгоритмов, чему авторы предполагают посвятить отдельное будущее исследование.



*Благодарности.* Работа выполнена в рамках программы академического стратегического лидерства «Приоритет-2030», проект «Разработка алгоритмов автоматического расхождения судов в соответствии с МППСС-72, оценка их эффективности и безопасности».

### Список источников

1. Лентарёв А.А. Основы теории управления движением судов: монография. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2018. 181 с.
2. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Прикладная математика». Москва: Высшая школа, 1982. 256 с.
3. Studies in Marine Traffic Engineering / A. Yamaguchi, S. Sakaki, Y. Fujii [et al.] // Journal of Navigation. 1971. No. 4. P. 521–552.
4. Sugisaki A., Otsu K. A Consideration on the Meeting on the Marine Traffic Flow // J. Nav. Soc. Jap. 1971. No. 45. P. 107–113.
5. Ольшамовский С.Б., Земляновский Д.К., Щепетов И.А. Организация безопасности плавания судов: учебник для ин-в водн. трансп. Москва: Транспорт, 1979. 213 с.
6. Ольшамовский С.Б. Повышение безопасности мореплавания. 2-е изд., перераб. и доп. Новороссийск: НГМА, 2000. Ч. 3. 142 с.
7. Погосов С.Г. Безопасность плавания в портовых водах. Москва: Транспорт, 1977. 138 с.
8. Погосов С.Г., Москвин Г.И. Береговые системы управления движением судов ЦБНТИ ММФ. Москва: Морской транспорт: Обзорная информация. Серия: Судовождение и связь, 1976. 54 с.
9. Погосов С.Г., Борисов Е.В., Королева В.П. Обеспечение безопасности движения судов в портовых водах. Москва: Морской транспорт: Обзорная информация. Серия: Судовождение и связь ЦБНТИ ММФ, 1974. 41 с.
10. Гриняк В.М., Девятисильный А.С. Нечеткая система предупреждения об опасном сближении морских судов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2016. № 2. С. 93. DOI: 10.7868/S0002338816010078
11. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Трофимов М.В. Визуальное представление параметров траектории безопасного движения судна // Морские интеллектуальные технологии. 2016. № 3-1 (33). С. 269–273.
12. Гриняк В.М., Трофимов М.В., Люлько В.И. Оценка и представление параметров безопасного движения судна // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 4 (38). С. 51–61. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-51-61
13. Гриняк В.М., Девятисильный А.С. Планирование маршрутов судов через акватории с интенсивным движением на основе ретроспективных данных // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10, № 3 (38). С. 25–26. DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.014
14. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Иваненко Ю.С. Поддержка принятия решений при обеспечении безопасности движения судов на основе кластеризации траекторий // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2020. Т. 12, № 3. С. 436–449. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-436-449

15. Головченко Б.С., Гриняк В.М. Информационная система сбора данных трафика морской акватории // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2014. № 8. С. 24–28.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618729 Российская Федерация. Программа сбора траекторных данных о движении судов из открытых интернет-источников: заявл. 22.05.2018; опубл. 19.07.2018 / Гриняк В.М., Шурыгин А.В.
17. Имитационное моделирование трафика морской акватории для планирования безопасной схемы движения судов / В.М. Гриняк, А.В. Шуленина, И.В. Бабиев, А.В. Артемьев // Навигация и гидрография. 2024. № 4 (77). С. 15–26.
18. Кириллова М.А., Рожко А.И. Перспективы развития безэкипажных судов в Российской Федерации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 3. С. 16–22. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-16-22
19. Основные тренды внедрения технологий искусственного интеллекта в управлении морскими автономными надводными судами / А.И. Епихин, А.В. Игнатенко, Д.Е. Студеникин, Е.В. Хекерт // Эксплуатация морского транспорта. 2021. № 1. С. 88–96. DOI: 10.34046/aumsuomt98/14
20. Pallotta G., Vespe M., Bryan K. Vessel pattern knowledge discovery from AIS data: a framework for anomaly detection and route prediction // Entropy. 2013. Vol. 15. P. 2218–2245. DOI: 10.3390/e15062218
21. Detection of abnormal vessel behaviour based on probabilistic directed graph model / H. Tang, L. Wei, Y. Yin [et al.] // Journal of Navigation. 2020. Vol. 73, Is. 5. P. 1014–1035.
22. Ship Anomalous Behavior Detection Using Clustering and Deep Recurrent Neural Network / B. Zhang, K. Hirayama, H. Ren [et al.] // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, Is. 4. P. 763.

## References

1. Lentarev A.A. Fundamentals of the theory of ship traffic control: monograph. Vladivostok: Mor. state. un-t; 2018. 181 p.
2. Ivchenko G.I., Kashtanov V.A., Kovalenko I.N. Theory of mass service: students. allowance for university students studying in the specialty "Applied Mathematics". Moscow: Higher School; 1982. 256 p.
3. Studies in Marine Traffic Engineering / A. Yamaguchi, S. Sakaki, Y. Fujii [et al.]. *Journal of Navigation*. 1971; (4): 521–552.
4. Sugisaki A., Otsu K. A Consideration on the Meeting on the Marine Traffic Flow. *J. Nav. Soc. Jap.* 1971; (45): 107–113.
5. Olshamovsky S.B., Zemlyanovsky D.K., Shchepetov I.A. Organization of ship navigation safety: textbook for in-water transpore. Moscow: Transport; 1979. 213 p.
6. Olshamovsky S.B. Improving the safety of navigation. 2nd ed., Revised and add. Novorossiysk: NGMA; 2000. Part 3. 142 p.
7. Pogosov S.G. Safety of navigation in port waters. Moscow: Transport; 1977. 138 p.
8. Pogosov S.G., Moskvин G.I. Coastal ship traffic control systems TsBNTI MMF. Moscow: Sea transport: Overview information. Series: Navigation and Communications; 1976. 54 p.
9. Pogosov S.G., Borisov E.V., Koroleva V.P. Ensuring the safety of ship traffic in port waters. Moscow: Sea transport: Overview information. Series: Navigation and Communications CBNTI MMF; 1974. 41 p.

10. Grinyak V.M., Devyatisilny A.S. Unclear warning system for dangerous approach of sea vessels. *Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems*. 2016; (2): 93. DOI: 10.7868/S0002338816010078
11. Grinyak V.M., Devyatisilny A.S., Trofimov M.V. Visual representation of the parameters of the trajectory of the safe movement of the vessel. *Marine intelligent technologies*. 2016; 3-1 (33): 269–273.
12. Grinyak V.M., Trofimov M.V., Lyulko V.I. Assessment and presentation of the parameters of the safe movement of the vessel. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. 2016; 4 (38): 51–61. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-51-61
13. Grinyak V.M., Devyatisilny A.S. Planning of ship routes through high-traffic waters based on retrospective data. *Modeling, optimization and information technology*. 2022; 10 (3 (38)): 25–26. DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.014
14. Grinyak V.M., Devyatisilny A.S., Ivanenko Yu.S. Decision-making support in ensuring the safety of ship traffic based on trajectory clustering. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. 2020; 12 (3): 436–449. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-436-449
15. Golovchenko B.S., Grinyak V.M. Information system for collecting marine traffic data. *Scientific and technical information. Series 2: Information Processes and Systems*. 2014; (8): 24–28.
16. Certificate of state registration of the computer program No. 2018618729 Russian Federation. Program for collecting trajectory data on the movement of ships from open Internet sources: declared. 22.05.2018: publ. 19.07.2018 / Grinyak V.M., Shurygin A.V.
17. Simulation modeling of sea water traffic for planning a safe scheme of vessel traffic / V.M. Grinyak, A.V. Shulenina, I.V. Babiev, A.V. Artemyev. *Navigation and hydrography*. 2024; 4 (77): 15–26.
18. Kirillova M.A., Rozhko A.I. Prospects for the development of unmanned vessels in the Russian Federation. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology*. 2020; (3): 16–22. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-16-22
19. The main trends in the introduction of artificial intelligence technologies in the management of marine autonomous surface vessels / A.I. Epikhin, A.V. Ignatenko, D.E. Studenikin, E.V. Heckert. *Operation of sea transport*. 2021; (1): 88–96. DOI: 10.34046/aumsuomt98/14
20. Pallotta G., Vespe M., Bryan K. Vessel pattern knowledge discovery from AIS data: a framework for anomaly detection and route prediction. *Entropy*. 2013; (15): 2218–2245. DOI: 10.3390/e15062218
21. Detection of abnormal vessel behaviour based on probabilistic directed graph model / H. Tang, L. Wei, Y. Yin [et al.]. *Journal of Navigation*. 2020; 73 (5): 1014–1035.
22. Ship Anomalous Behavior Detection Using Clustering and Deep Recurrent Neural Network / B. Zhang, K. Hirayama, H. Ren [et al.]. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023; 11 (4): 763.

#### Информация об авторах:

**Артемьев Андрей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. судовождения, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, artemyev@msun.ru

**Гриняк Виктор Михайлович**, д-р техн. наук, доцент, профессор каф. информационных технологий и систем, ФГБОУ ВО «ВВГУ», г. Владивосток, victor.grinyak@gmail.com

**Иваненко Юрий Сергеевич**, старший преподаватель департамента Программной инженерии и искусственного интеллекта, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, [ivanenko\\_yus@dvfu.ru](mailto:ivanenko_yus@dvfu.ru)

**Шуленина Алёна Викторовна**, младший научный сотрудник сектора управления и навигации, Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, [shuleniinaav@mail.ru](mailto:shuleniinaav@mail.ru)

DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-2/212-227>

EDN: <https://elibrary.ru/BHUWNQ>

Дата поступления:  
26.03.2025

Одобрена после рецензирования:  
15.04.2025

Принята к публикации:  
15.05.2025