

## DECISION SUPPORT FOR MARINE TRAFFIC CONTROL BASED ON ROUTE CLUSTERING

V. M. Grinyak<sup>123</sup>, A. S. Devyatisilnyi<sup>2</sup>, Yu. S. Ivanenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> — Vladivostok State University of Economics and Service,  
Vladivostok, Russian Federation

<sup>2</sup> — Institute of Automation and Control Processes FEBRAS,  
Vladivostok, Russian Federation

<sup>3</sup> — Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

*This paper is about navigation safety of marine traffic at sea areas. In addition to traditional approach of danger situation detection based on vessels approaching, the current paper introduces another metrics derived from kinematic parameters of the vessel itself, to identify whether it follows patterns (rules) of the traffic at a certain sea area. Authors focused their efforts on analyzing existing traffic schemas in order to identify its danger level in general rather than scrutinizing on individual cases. Along with the traditional approach of sea traffic schema identifications, proposed original method of automated identification of sea traffic schemes based on clustering of movement parameters using historical AIS data. The kinematic model with additional clustering of the objects at sea area is used. Clustering is built up on identification of “typical” objects with splitting maritime area into subsets of areas with similar movement patterns. For the clustering decomposition Mountain clustering and Subtraction clustering algorithms were considered. The model under research is built depending on the heading parameter and is applicable for both unidirectional and bidirectional traffic. The historical AIS data of sea traffic at Tsugaru strait is used for identifying traffic schema with the model designed under presented research.*

The proposed model shows correct identification of the traffic schema, accurately identifies straight-line traffic clustering areas crossing like traffic clustering areas and active maneuvering areas. Based on model output results, the algorithm is proposed to help with navigation decision making for safe ship traffic in certain sea areas. The calculation of deviation between identified clusters and real ship traffic shows that about 15% of the vessels are not following sea area specific traffic schema. As a part of the work there are analyses of relevant research with emphasizes on superior differences such as automated identification of vessel movement types and quantitative measure of overall danger for the traffic scheme based on clustering analyses.

Study of proposed approach for safety measures on real navigation area proves its potential for future implementation in real applications to provide navigation schema for vessel navigators.

*Keywords:* navigation safety, route planning, ship track system, clustering, AIS.

**For citation:**

Grinyak, Victor M., Alexander S. Devyatisilnyi, and Yuryi S. Ivanenko. “Decision support for marine traffic control based on route clustering.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i technologicheskogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.3 (2020): 436–449. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-436-449.

**УДК 519.68:15:681.5**

## ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ

**В. М. Гриняк<sup>123</sup>, А. С. Девятисильный<sup>2</sup>, Ю. С. Иваненко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> — Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,  
Владивосток, Российская Федерация

<sup>2</sup> — Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,  
Владивосток, Российская Федерация

<sup>3</sup> — Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток, Российская Федерация

*Проанализирована проблема обеспечения безопасности движения судов на морских акваториях. Отмечается, что в условиях интенсивного трафика безопасность движения судов может быть обеспе-*

чена только при соблюдении или определенной схемы движения. В работе ставится задача определения схем движения судов на основе кластеризации ретроспективных данных о траекториях. Таким образом, выделяются устоявшиеся, выработанные эксплуатационной практикой паттерны движения конкретной морской акватории. Данная информация может быть использована при управлении движением судов бортовыми и береговыми средствами в дополнение к классическим методам оценки риска, предупреждения опасного сближения и планирования безопасной траектории. Несмотря на то, что нарушающие правила движения на акватории суда, с точки зрения классических концепций, могут не представлять опасности, но через некоторое время они способны создать трудноразрешимую опасную навигационную ситуацию.

Признаками объектов выбраны координаты, скорости и курсы. Отмечается, что для рассматриваемой задачи подходят методы кластеризации, ориентированные на поиск центров кластеров при неизвестном их числе. Это дает возможность определять характерные значения курсов и скоростей на том или ином участке акватории и оценивать близость параметров движения судна к рекомендуемым. Подробно рассмотрены методы горной и субтрактивной кластеризации, сделан выбор в пользу последнего. Предлагается декомпозиция исходной задачи: акватория разбивается на небольшие участки, и кластеризация осуществляется для каждого из участков в отдельности, исходя из того, что признаками объектов являются только скорости и курсы — по отдельности или одновременно. Решение описанной задачи кластеризации возможно с использованием данных, предоставляемых сервисами автоматической идентификационной системы (АИС), как актуальных, так и ретроспективных, доступных в открытых интернет-ресурсах.

Работа сопровождается результатами расчетов, полученных на основе реальных данных о движении судов в Сангарском проливе. Предлагается алгоритм поддержки принятия решений при обеспечении безопасности движения судов с учетом решения обсуждаемой задачи. Данна оценка соответствия параметров реального движения судов результатам кластеризации. Так, в Сангарском проливе число судов, хотя бы раз «нарушивших» правила движения по акватории составило около 15 %, что подтверждает актуальность исследования. Отмечается, что рассмотренный подход к кластерному анализу является также способом количественной оценки опасности схемы движения на акватории.

**Ключевые слова:** безопасность судовождения, планирование маршрута, система установления путей движения судов, кластеризация, АИС.

**Для цитирования:**

Гриняк В. М. Поддержка принятия решений при обеспечении безопасности движения судов на основе кластеризации траекторий / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, Ю. С. Иваненко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 436–449. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-436-449.

## Введение (Introduction)

Обеспечение навигационной безопасности движения является основной проблемой, решаемой в процессе эксплуатации морских судов. Классические отраслевые представления о безопасном движении включают три задачи, решаемые судоводителями и операторами береговых служб: оценку риска опасного сближения, предупреждение опасного сближения и планирование траектории безопасного движения [1]. Первая задача состоит в заблаговременном обнаружении возможности опасного сближения и предупреждении судоводителя о том, что существует риск столкновения с препятствием или сближения с ним на недопустимо малое расстояние [2], [3]. Вторая задача связана с маневрированием для ухода судна от опасного сближения, выработкой алгоритма действий судоводителя, позволяющих избежать опасного сближения с другими объектами [4]–[6]. Третья задача направлена на прогноз навигационной ситуации на основе текущей обстановки и расчет планируемой траектории судна таким образом, чтобы обеспечить его движение на безопасной от других объектов дистанции [7]–[9].

В последние годы наблюдается постоянный рост интенсивности трафика в акваториях морских портов и на подходах к ним. Так, в акваториях, прилегающих к крупным портам Азии, может одновременно находиться до 3,5 тыс. судов, движение которых имеет характер разноправленных интенсивных судопотоков [10]. Ситуацию усложняет систематическое присутствие на акватории нетрадиционных транспортных средств, требующих особого внимания: буксируемых к месту назначения буровых платформ, судов военного и специального назначения, а в перспективе высокоскоростных и высокоманевренных судов типа экранопланов и беспилотных морских транспортных средств с их особой правовой и навигационной спецификой [11]–[13]. В таких

условиях для эффективного управления коллективным движением судов недостаточно традиционных подходов. Данное обстоятельство требует разработки новых методов и модельных представлений поддержки принятия решений, обеспечивающих работу бортовых и береговых систем управления движением.

Одним из элементов организации коллективного движения на море является система установления путей движения судов [14], [15], представляющая собой набор ограничений, накладываемых определенной схемой движения судов («правилами движения»), принятой на конкретной акватории. Задача выработки таких схем движения окончательно сформировалась в середине 50-х гг. XX в. [16]–[18], когда на гражданском флоте была массово внедрена радиолокационная техника, дающая возможность достаточно точно определения местоположения судна. Целью системы установления путей движения судов является исключение неопределенностей или возможностей принятия ошибочных решений судоводителями. Оценка соблюдения требований системы установления путей («правил движения») способна дополнить традиционные инструменты обеспечения безопасности в условиях интенсивного движения. Суда, нарушающие правила движения на акватории, с точки зрения классических представлений могут не представлять опасности в настоящий момент, однако они способны привести к трудноразрешимой опасной навигационной ситуации через некоторое время.

Определение схем движения может осуществляться как экспертным способом: с учетом географии акватории, особенностей трафика и различных практических аспектов судовождения, так и на основе наблюдений: путем выделения устоявшихся, выработанных эксплуатационной практикой паттернов движения конкретной морской акватории. Перспективным способом реализации последнего подхода является анализ ретроспективных данных о трафике морских акваторий. В основе модельных представлений этой задачи может быть использована идея кластеризации параметров движения.

Целью настоящей статьи является оценка возможности определения схем движения судов предлагаемым способом, а также использования их для обеспечения безопасности движения.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Движение реального судна представляет собой многоаспектное и сложное явление. В задачах обеспечения навигационной безопасности движения судов традиционно прибегают к упрощенным кинематическим моделям, где основными параметрами являются координаты, курс и скорость движения [1], [19].

Коллективное движение судов, как правило, характеризуется типичными (рекомендуемыми и / или реализуемыми) значениями курса и скорости на тех или иных участках акватории [20], [21]. Например, на участках фарватеров, характерных для проливов или мелководья, суда идут строго определенными курсами, соблюдая скоростной режим. В районах якорных стоянок значения курсов разнообразны и велика доля покоящихся судов. В районах рыбного промысла движение судов нерегулярно и хаотично. Таким образом, имеет место корреляция координат судна с курсом и скоростью. С точки зрения задачи описания схемы движения на акватории для задания зависимости скоростей, курсов и координат удобно использовать модельные представления кластеризации [22].

В основу идеи кластеризации положено выделение подмножеств объектов (кластеров), близких друг к другу по своим характеристикам. Существует два типа кластеров: кластеры — области связности и кластеры-«сгустки». В первом случае выделяются подмножества объектов, «похожих» друг на друга и существенно отличающихся от остальных объектов множества, во втором — объекты с «самыми типичными» характеристиками, принимаемые за центры кластеров. Остальные объекты относят к соответствующим подмножествам, если они «похожи» на выделенные центры. В обоих случаях задача кластеризации решается на определенной метрике — функции, задающей степень близости («расстояние») между объектами [23]–[25].

В известной работе [10] описана задача кластеризации траекторий первого типа. Признаками объектов при кластеризации являлись координаты судов. При нахождении областей связ-

ности были выделены основные траектории движения судов в районе интенсивного судоходства. Это позволило определять аномально движущиеся суда, путь которых не являлся характерным для данной акватории, что представляло интерес, например, для правоохранительных органов. С точки зрения задач навигационной безопасности целесообразной является кластеризация траекторий второго типа, поскольку она дает возможность определять характерные значения курсов и скоростей на том или ином участке акватории и оценивать близость параметров движения судна к рекомендуемым.

Центральным элементом задачи кластеризации является определение метрики расстояния между объектами. Пусть каждое судно характеризуется величинами  $LON, LAT, SPEED, COURSE$  — соответственно долгота, широта, скорость и курс. Введем метрику расстояния  $D_{12}$  между объектами 1 и 2 следующим образом:

$$D_{12}^2 = w_{lon}(LON_1 - LON_2)^2 + w_{lat}(LAT_1 - LAT_2)^2 + \\ + w_{speed}(SPEED_1 - SPEED_2)^2 + w_{course}(COURSE_1 - COURSE_2)^2.$$

Подбор весовых коэффициентов  $w_{lon}, w_{lat}, w_{speed}, w_{course}$  осуществляется исходя из представлений о характерных размерах кластеров по каждому из измерений. Так, например, по курсу характерные размеры кластера могут составлять 5–10 град., а по скорости 2–3 м/с. Функция разности курсов  $COURSE_1 - COURSE_2$  доопределяется с учетом периодичности данных по углу. Что касается характерных размеров по координатам, то их определение является нетривиальной задачей. На акватории могут встречаться как участки длительного равномерного движения судов в несколько десятков километров, так и участки маневренного движения (поворота) размером в несколько сотен метров. Поэтому для некоторых приложений целесообразно прибегнуть к декомпозиции исходной задачи, т. е. разбить акваторию на небольшие (например, квадратные) участки размером от сотен метров до нескольких километров и осуществлять кластеризацию для каждого из участков отдельно, считая, что признаками объектов являются только скорости и курсы по отдельности (одномерная кластеризация) или одновременно (двумерная кластеризация). Такое модельное представление вполне соотносится с практической отраслевой спецификой задачи.

Для решения задачи кластеризации второго типа хорошо зарекомендовали себя алгоритмы горной и субтрактивной кластеризации, не требующие задания количества кластеров. Первый из них состоит в следующем. Пусть имеются множество из  $M$  объектов и матрица расстояний  $D_{ij}$ , задающая степень близости между объектами с индексами  $i$  и  $j$ . Примем, что возможными центрами кластеров являются сами объекты. Для каждого из них рассчитывается значение потенциала, показывающее возможность формирования кластера в его окрестности:

$$P_i = \sum_{j=1}^M \exp(-\alpha D_{ij}),$$

где  $\alpha$  — число, характеризующее масштаб расстояний  $D_{ij}$ ;  $\exp(\cdot)$  — оператор экспоненты.

На первом шаге алгоритма рассчитывают потенциал  $P_i$  каждого объекта и выбирают объект с наибольшим потенциалом. Этот объект (пусть его индекс равен  $\max_1$ ) считают центром первого кластера. На втором шаге пересчитывают значения потенциалов всех объектов так, чтобы исключить влияние потенциала уже найденного кластера: от текущих значений потенциала  $P_i$  вычитают вклад центра найденного первого кластера по формуле

$$P_i^{(2)} = P_i - P_{\max_1} \exp(-\beta D_{i\max_1}),$$

где  $\beta$  — число, характеризующее размер кластеров.

Центр второго кластера — точка с индексом  $\max_2$  с максимальным значением потенциала  $P_i^{(2)}$ . Аналогично находятся центры всех следующих кластеров. Итерационная процедура пересчета потенциалов и выделения центров кластеров продолжается до тех пор, пока максимальное значение потенциала превышает некоторый заданный порог. Принадлежность точки к тому или иному кластеру определяется по расстоянию до его центра.

Метод субтрактивной кластеризации является модификацией горного алгоритма. После нахождения центра первого кластера из множества объектов исключаются объекты, принадлежащие

первому кластеру, затем процедура итеративно повторяется до тех пор, пока максимальное значение потенциала превышает заданный порог.

В рассматриваемой задаче имеется специфическая особенность данных по курсу судна: возможно задание курса как на множестве  $[0, 360^\circ]$ , так и на множестве  $[0, 180^\circ]$ . В первом случае различаются суда, движущиеся по фарватеру как «вперед», так и «назад»; такой способ подходит для моделирования «двустороннего» движения. Во втором случае суда, движущиеся в противоположных направлениях, неразличимы. Такое представление целесообразно, когда важно описать зоны пересечения судопотоков.

Решение описанной задачи кластеризации возможно с использованием данных, предоставляемых сервисами автоматической идентификационной системы (АИС), как актуальных, так и ретроспективных, доступных в открытых интернет-ресурсах типа [26]. На рис. 1 показан пример визуализации таких данных — участок акватории Сангарского пролива в зоне пересечения судопотоков с координатами и курсами судов, находившихся на нем в течение суток. На рисунке хорошо видны преобладающие курсы судов: движение в направлениях «север-юг» (красные кружки-стрелки) и «запад-восток» (синие кружки-стрелки), что подтверждает конструктивность модельных представлений, основанных на идее кластеризации.

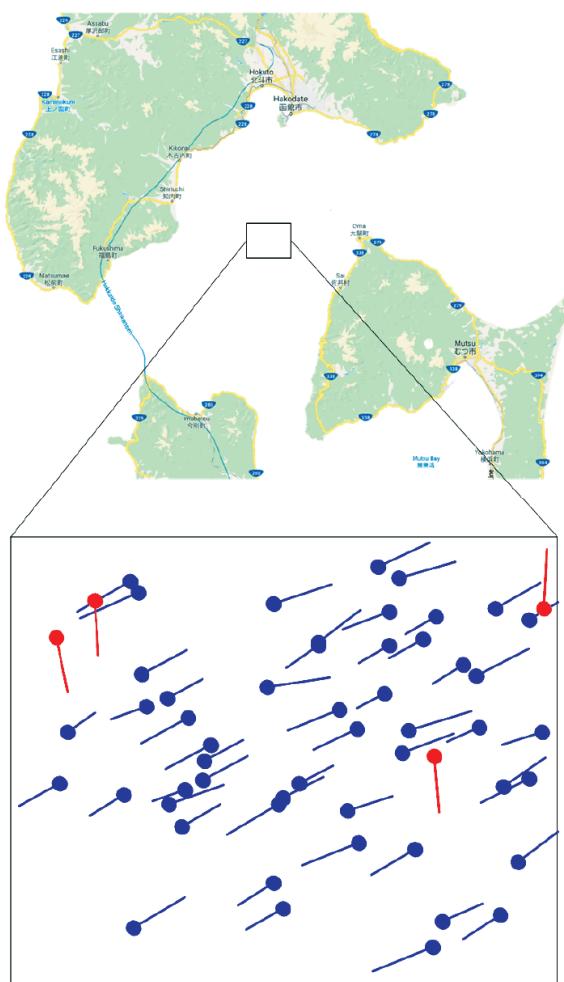


Рис. 1. Координаты, скорости и курсы судов в Сангарском проливе

### Результаты (Results)

Исследование проводилось на реальных данных о движении судов в Сангарском проливе, собранных с ресурса [26] с помощью специально разработанной программной системы [27], [28]. Были взяты данные о движении в течение одной недели, всего около 1,5 млн записей. Акватория,

показанная на рис. 1, разбивалась на квадратные участки со стороной 1 км. Кластеризация выполнялась для каждого из участков, где число данных было больше двадцати. Признаками объектов считались курсы.

Метрика расстояния между объектами с индексами  $i$  и  $j$  задавалась как  $D_{ij} = \sqrt{(COURSE_i - COURSE_j)^2}$ , разность курсов доопределялась с учетом периодичности значений угла. Курсы задавались на множестве  $[0, 180^\circ]$ . Количество значений курсов на некоторых участках достигало двухсот.

Использовался метод субтрактивной кластеризации. Значения параметров метода подбирались таким образом, чтобы корректно идентифицировать кластеры эталонной выборки. В качестве одной из таких выборок использовались данные, показанные на рис. 1. В результате значение параметра  $\alpha$  было выбрано соответствующим характерному радиусу кластера  $16^\circ$ ; объекты считались принадлежащими кластеру, если они лежали ближе, чем в  $20^\circ$  от его центра (обычно значение этого параметра равно  $1,25\alpha$ ). Итерационная процедура поиска центров кластеров заканчивалась, если потенциал очередного кластера не превышал 10 % потенциала первого кластера, оставшиеся кластеры считались незначимыми.

На рис. 2 показаны данные о количестве найденных кластеров: голубым цветом отмечены участки акватории, где курсы судов образуют один кластер, зеленым — два, желтым — три, красным — четыре. Участков с большим числом кластеров найдено не было. Показаны зоны регулярного движения судов с постоянными курсами — голубые участки, зеленые участки — это области пересечения двух судопотоков, желтые и красные — зоны пересечения нескольких судопотоков и зоны нерегулярного хаотичного движения в районе, прилегающем к порту Хакодате.

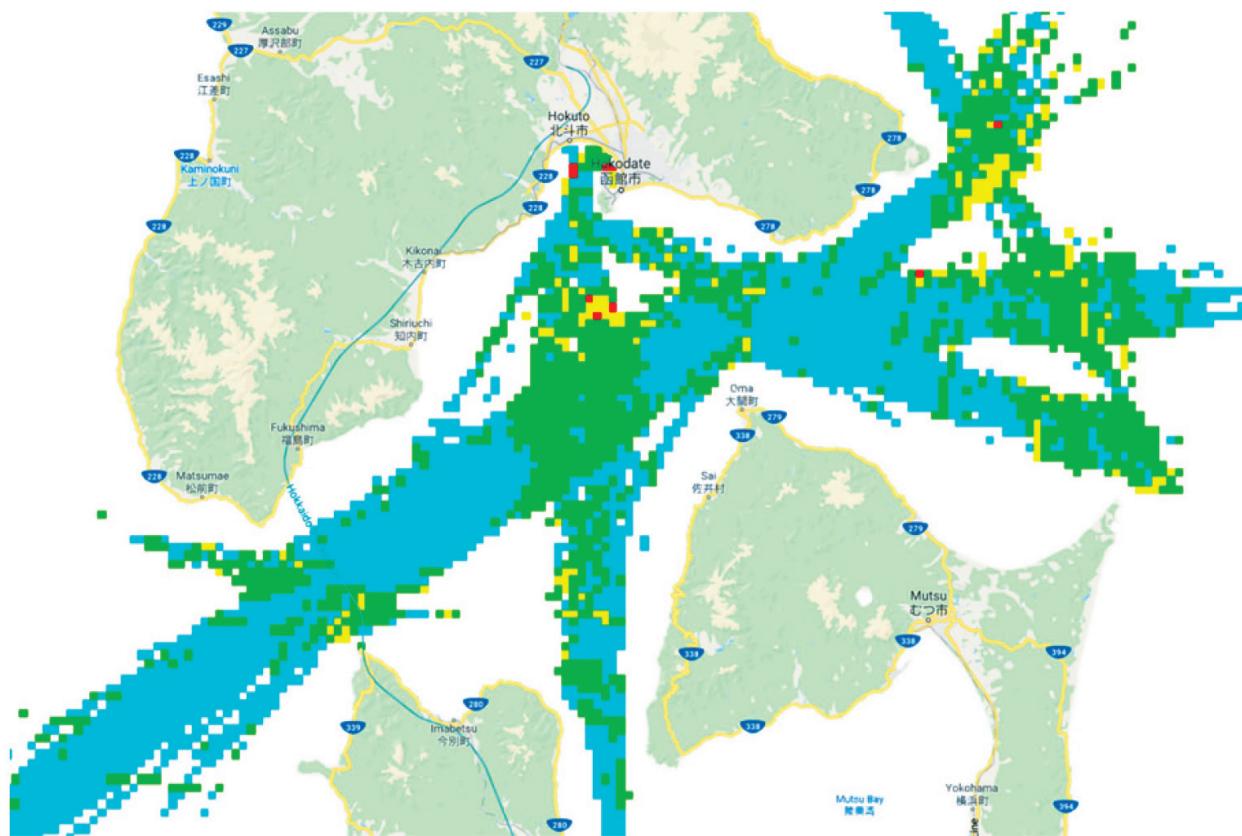


Рис. 2. Количество кластеров в данных о курсах судов

На рис. 3 линиями показаны курсы, соответствующие этапу 1 (синие линии) и этапу 2 (зеленые линии) кластеризации. Видно, что найденные значения курсов полностью соответствуют направлению движения реальных судопотоков.

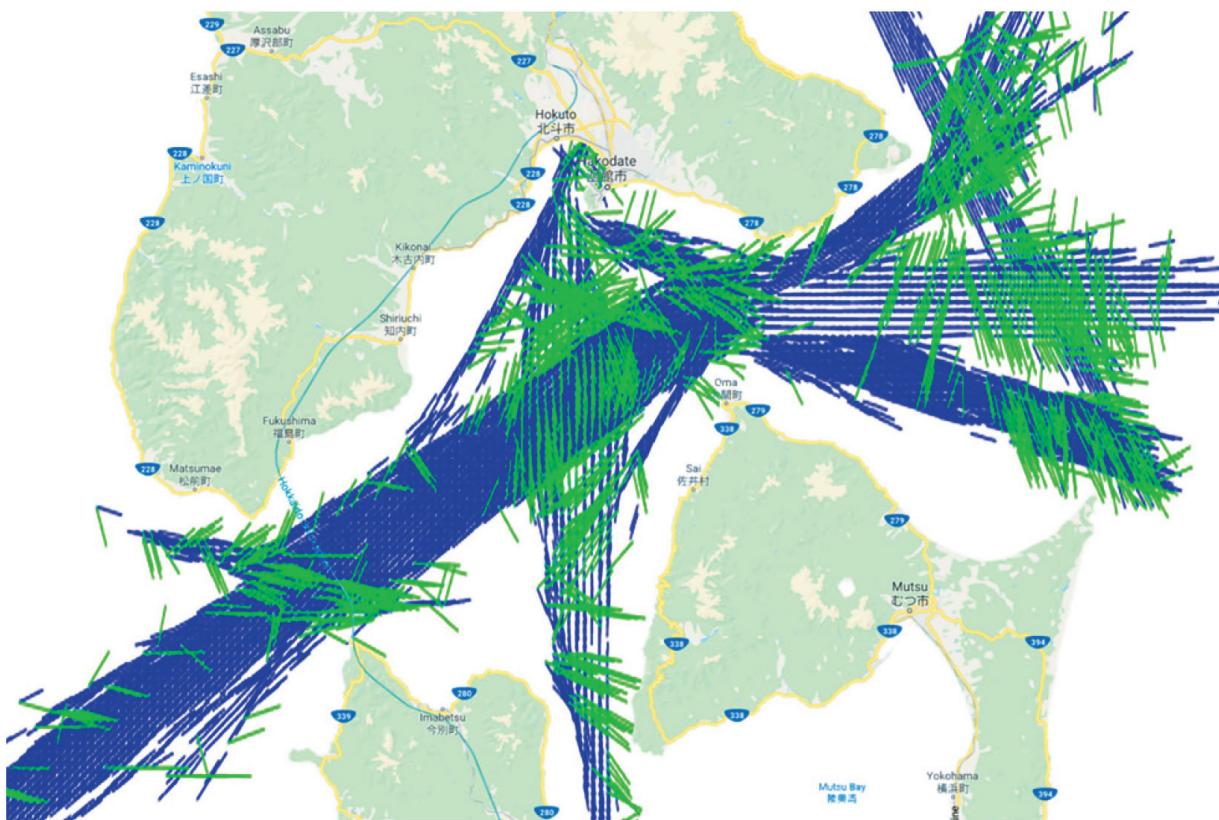


Рис. 3. Центры первого (синие участки) и второго (зеленые участки) кластеров в данных о курсах судов

Поддержка принятия решений при обеспечении безопасности движения судов с учетом реализации обсуждаемой задачи оценки схем движения судов осуществляется в приведенной последовательности.

1. На основе ретроспективных данных о движении судов и рассмотренного алгоритма кластеризации выполняется оценка характерных значений курсов и / или скоростей судов на тех или иных участках выбранной акватории.

2. По результатам кластеризации на этапе 1 акватория делится на участки с регулируемым (там, где выделены характерные значения курсов и / или скоростей) и нерегулируемым движением и формируется соответствующая база данных.

3. Для каждого судна, находящегося на наблюдаемой акватории, решается задача оценки риска опасного сближения с другими судами. Если такое опасное сближение возможно, то решается задача предупреждения опасного сближения. При этом имеются в виду ограничения, обусловленные результатами кластеризации на этапах 1 и 2.

4. Для каждого судна, находящегося на участках с регулируемым движением, решается задача оценки соответствия параметров движения результатам кластеризации на этапе 1. Если судно выполняет движение не по правилам, то решается задача планирования траектории безопасного движения с учетом ограничений, обусловленных результатами кластеризации на этапах 1 и 2.

На рис. 4 показана оценка соответствия параметров реального движения судов результатам кластеризации. Считая, что возможные курсы судов заданы в соответствии с данными рис. 3, а отклонение от рекомендованного курса не должно превышать принятый размер кластера ( $20^\circ$ ), было проанализировано движение судов в течение одних суток, следующих за периодом исходных данных о движении. Серым цветом показана область акватории, где курсы судов считаются установленными, — это зона, где задана и контролируется схема движения судов. Красным цветом показаны точки, где было зафиксировано движение судов по курсам, не соответствующим

установленным. Число таких судов, хотя бы раз нарушивших правила движения по акватории, составило около 15 %, что подтверждает актуальность рассматриваемой задачи.

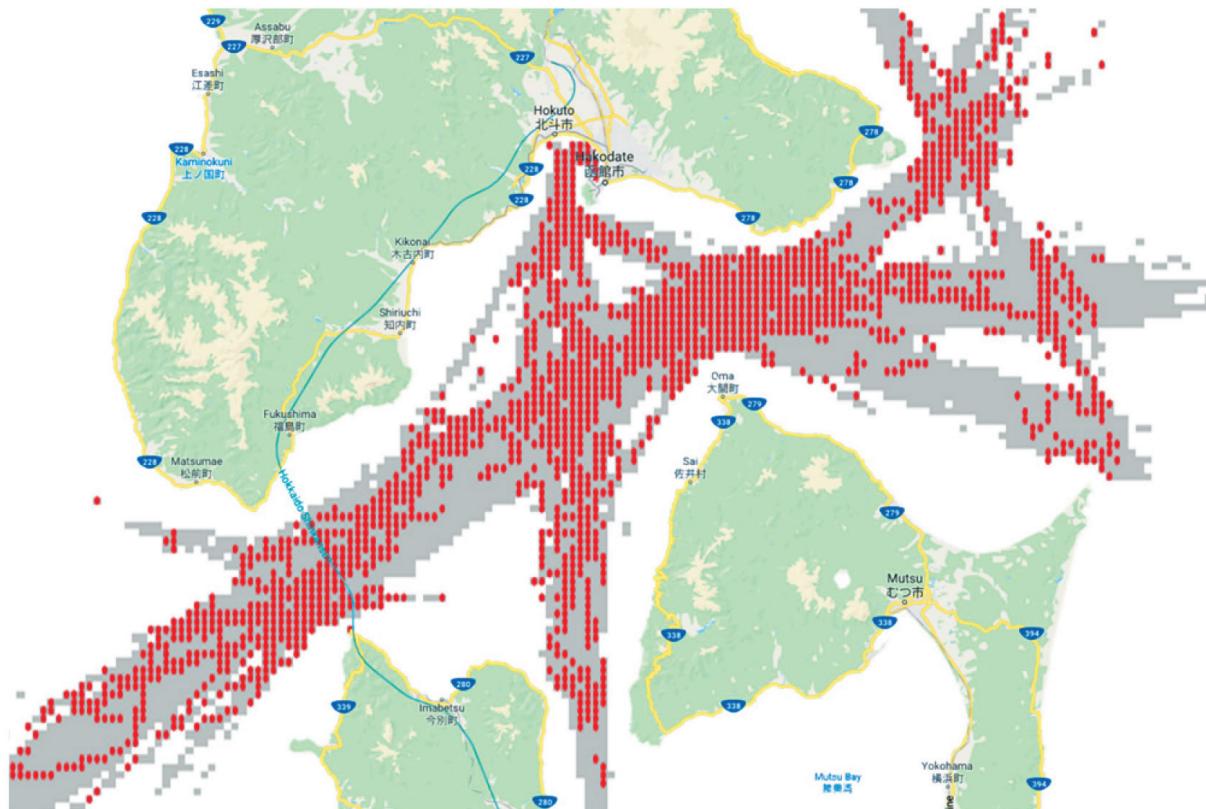


Рис. 4. Область с установленными курсами судов (серый цвет)  
и точки «нарушения» правил движения (красный цвет)

Кроме того, следует отметить, что в приведенном на рис. 2–4 примере кластеризация проводилась только по курсам в силу особенностей имеющихся данных: движение в Сангарском проливе характеризуется стабильностью скоростей судов. Несмотря на то, что результат кластеризации уже оказывается достаточно репрезентативным, по данным о движении судов в течение одной недели, для качественного решения задачи в реально эксплуатируемых системах следует увеличить объем выборки.

### Обсуждение (Discussion)

В последнее десятилетие отмечается повышенное внимание исследователей к задачам анализа данных о движении на акваториях. Заслуживает внимания работа [29], в которой предложена экспертная система оценки степени опасности движения судов в ограниченных водах, основанная на вероятностных модельных представлениях. В этой работе предложена пятиуровневая шкала оценки степени опасности в задаче «судно–судно», приведены данные исследований в акватории порта Сингапур, причем типы опасных ситуаций заданы априорно, в отличие от настоящей работы, где характерные типы движения идентифицируются на основе ретроспективных данных.

С развитием технологий и сервисов АИС концепции е-Навигации [30] и технологий «облачных вычислений» у исследователей появилась возможность работать с большими массивами данных о реальном движении судов. В этой области можно выделить статью [31], в которой описаны данные, доступные через систему АИС, исследуются статистические характеристики траекторных данных о движении судов близ берегов Португалии, предлагается вероятностная модель оценки риска опасного сближения судов и дается оценка количества опасных ситуаций в рассматриваемом регионе. На основе анализа массивов данных о движении выделяются характерные навигационные

ситуации «судно-судно». В этой части исследование [31] идентично проведенному отечественными авторами в работе [32], где выполнен анализ системы экспертных представлений о коллективном движении судов на основе его разделения на базисные информационные конструкции, обладающие общностью и репрезентативностью характеристик; описаны паттерны опасных ситуаций различного типа (для двух, трех и караванов судов). Однако, в отличие от работы [31], в статье [32] навигационные ситуации определяются априорно, исходя из классических геометрических соображений. В работе [33] выполнен анализ данных о движении судов в акватории порта Сингапур. На основе классической модели корабельного домена и оценки точки кратчайшего сближения судов оценивается количество опасных сближений судов различных классов на тех или иных участках акватории, выделяются наиболее сложные для движения участки. При этом для оценки опасности используется относительная шкала, не позволяющая оценить необходимость и возможные варианты изменения существующей схемы движения судов. Даны лишь рекомендации относительно того, каким образом пассажирским судам следует избегать отмеченные участки. Схожий подход используется также в работе [34].

В отличие от всех приведенных ранее работ, в настоящей статье рассмотрен способ количественной оценки опасности схемы движения на акватории путем кластерного анализа, раскрывающий еще одну сторону комплексного и многозначного понятия «безопасность движения». Участки акваторий со стабильными параметрами траекторий потенциально менее опасны. Данные, представленные на рис. 2, демонстрируют вариант оценки стабильности параметров движения на том или ином участке акватории. При этом важно учитывать число выявленных кластеров параметров движения, их «ширину», «разброс» величин относительно центров кластеров. Так, если выявлено 1–2 «узких» кластера по курсу, то это свидетельствует о регулярном, стабильном судопотоке на участке, большее их количество сигнализирует о разнонаправленных пересекающихся судопотоках или нерегулярном движении. Например, данные рис. 2 свидетельствуют о том, что в акватории Сангарского пролива движение судов в основном безопасно, повышенное внимание требуется лишь при движении в области пересечения судопотоков в центре пролива и у его западного входа.

### Выводы (Conclusion)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В работе обоснован дополняющий классические представления подход к оценке безопасности движения судна — необходимость оценки не только актуального риска опасного сближения с другими судами, но и соответствия кинематических параметров движения допустимым значениям для данной точки акватории («правилам движения»). Это множество допустимых значений предлагается определять с помощью кластеризации данных о движении судов, включающих в себя географические координаты, скорость и курс судна, т. е. путем кластеризации оценивать параметры схемы движения на акватории.

2. При решении задачи целесообразно прибегнуть к декомпозиции: разбить акваторию на небольшие участки (от сотен метров до нескольких километров) и осуществлять кластеризацию для каждого из участков отдельно, считая при этом, что признаками объектов являются скорости и курсы по отдельности (одномерная кластеризация) или одновременно (двумерная кластеризация).

3. Перспективными методами кластеризации в рассматриваемой задаче являются алгоритмы, ориентированные на поиск центров кластеров без предварительного задания их количества (например, горный и субтрактивный).

4. Источником данных для оценки параметров схемы движения на акватории могут служить сервисы АИС. В работе показана возможность использования не только первичных данных АИС, но и их вариантов, доступных на специализированных интернет-ресурсах. Несмотря на некоторую «разреженность» этой версии данных, они достаточно адекватно представляют сводные особенности трафика.

5. Для кластеризации параметров траекторий необходимы данные о движении судов в течение нескольких суток. Так, для формирования рис. 2–4 были обработаны массивы из 1,5 млн записей. Для высоконагруженных акваторий характерны объемы данных до 50 млн записей в течение недели. Решение задачи в таких районах требует разработки специальных программных систем и алгоритмов на основе технологий суперкомпьютеров и больших данных.

6. Исследования рассмотренного подхода к оценке безопасности на основе реальных данных о движении подтвердили его перспективность. Использование этого подхода позволяет получить информацию о сформировавшейся схеме движения судов на выбранной акватории и осуществлять поддержку принятия решений при обеспечении безопасности бортовыми и береговыми системами управления движением.

### Благодарности

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

### Acknowledgments

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tam Ch. K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch. K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // The Journal of Navigation. — 2009. — Vol. 62. — Is. 3. — Pp. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
2. Васьков А. С. Способы представления зоны навигационной безопасности судна / А. С. Васьков, М. А. Гаращенко // Эксплуатация морского транспорта. — 2017. — № 3 (84). — С. 38–44.
3. Szlapczynski R. A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions / R. Szlapczynski, J. Szlapczynska // The Journal of Navigation. — 2015. — Vol. 68. — Is. 06. — Pp. 1041–1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296.
4. Бурмака И. А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения / И. А. Бурмака, С. С. Пасечнюк, М. А. Кулаков // Эксплуатация морского транспорта. — 2017. — № 2 (83). — С. 76–81.
5. Астреин В. В. Базовая модель распределенной системы предупреждения столкновений судов / В. В. Астреин, А. Л. Боран-Кешишьян // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2016. — № 1 (14). — С. 19–23.
6. Дмитриев С. П. Система интеллектуальной поддержки судоводителя при расхождении судов / С. П. Дмитриев, Н. В. Колесов, А. В. Осипов, Г. Н. Романычева // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. — 2003. — № 2. — С. 98–105.
7. Вишневецкий С. А. Использование метода полей потенциалов для локального планировщика маршрута судна / С. А. Вишневецкий // Эксплуатация морского транспорта. — 2016. — № 3 (80). — С. 37–43.
8. Lebkowski A. Intelligent ship control system / A. Lebkowski, R. Smierzchalski, W. Giersz, K. Dziedzicki // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation-TransNav. — 2008. — Vol. 2. — No. 1. — Pp. 63–68.
9. Lazarowska A. Ship's trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimisation / A. Lazarowska // The Journal of Navigation. — 2015. — Vol. 68. — Is. 2. — Pp. 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
10. Zhao L. Maritime Anomaly Detection using Density-based Clustering and Recurrent Neural Network / L. Zhao, G. Shi // The Journal of Navigation. — 2019. — Vol. 72. — Is. 4. — Pp. 894–916. DOI: 10.1017/S0373463319000031.
11. Szlapczyński R. Framework of an evolutionary multi-objective optimisation method for planning a safe trajectory for a marine autonomous surface ship / R. Szlapczyński, H. Ghaemi // Polish Maritime Research. — 2019. — Vol. 26. — Is. 4. — Pp. 69–79. DOI: 10.2478/pomr-2019-0068.

12. Каминский В. Ю. Принципы формирования противоаварийных алгоритмов амфибийных судов на воздушной подушке / В. Ю. Каминский, Д. А. Скороходов, С. Н. Турусов, А. В. Фёдоров // Морские интеллектуальные технологии. — 2019. — № 4–2 (46). — С. 39–45.
13. Каретников В. В. К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории / В. В. Каретников, С. В. Козик, А. А. Бущанец // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.
14. Лентарёв А. А. Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания: учеб. пособие / А. А. Лентарёв. — Владивосток: Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, 2004. — 114 с.
15. Лентарёв А. А. Основы теории управления движением судов / А. А. Лентарёв. — Владивосток: Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, 2018. — 181 с.
16. Общие положения об установлении путей движения судов, № 9036. — Изд. ГУНиО МО СССР, 1987. — 32 с.
17. Таратынов В. В. Целесообразность разделения морских путей / В. В. Таратынов // Морской флот. — 1969. — № 9. — С. 19–20.
18. Таратынов В. П. Судовождение в стесненных районах / В. П. Таратынов. — М.: Транспорт, 1980. — 128 с.
19. Васьков А. С. Сопровождение параметров траектории движения судна / А. С. Васьков, А. А. Грищенко // Морские интеллектуальные технологии. — 2019. — № 4–3 (46). — С. 77–82.
20. Гриняк В. М. Оценка опасности трафика морской акватории по данным Автоматической идентификационной системы / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, В. И. Люлько // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
21. Гриняк В. М. Оценка эмоциональной нагрузки на судоводителей в условиях коллективного движения / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, А. В. Шуленина // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 640–651. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-640-651.
22. Zhen R. Maritime anomaly detection within coastal waters based on vessel trajectory clustering and naïve Bayes classifier / R. Zhen, Y. Jin, Q. Hu, Z. Shao, N. Nikitakos // The Journal of Navigation. — 2017. — Vol. 70. — Is. 3. — Pp. 648–670. DOI: 10.1017/S0373463316000850.
23. Bishop C. M. Pattern recognition and machine learning / C. M. Bishop. — New York, NY: Springer, 2006. — 738 p.
24. Bezdek J. C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms / J. C. Bezdek. — Boston: Springer US, 1981. — 272 p.
25. Yager R. R. Essentials of fuzzy modeling and control / R. R. Yager, D. P. Filev. — New York: John Wiley & Sons, 1994. — 408 p.
26. MarineTraffic [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.marinetraffic.com> (дата обращения: 01.03.2020).
27. Головченко Б. С. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории / Б. С. Головченко, В. М. Гриняк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2 (24). — С. 156–162.
28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618729, Российская Федерация. Программа сбора траекторных данных о движении судов из открытых интернет источников / В. М. Гриняк, А. В. Шурыгин; заявитель и патентообладатель ВГУЭС. — № 2018615154; заявл. 22.05.2018; опубл. 19.07.2018.
29. Debnath A. K. Navigational traffic conflict technique: a proactive approach to quantitative measurement of collision risks in port waters / A. K. Debnath, H. C. Chin // The Journal of Navigation. — 2010. — Vol. 63. — Is. 1. — Pp. 137–152. DOI: 10.1017/S0373463309990233.
30. Титов А. В. Состояние и перспективы реализации технологии е-навигации / А. В. Титов, Л. Барракат, А. Хаизаран // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 621–630. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-621-630.

31. Silveira P. A. M. Use of AIS data to characterise marine traffic patterns and ship collision risk off the coast of Portugal / P. A. M. Silveira, A. P. Teixeira, C. G. Soares // The Journal of Navigation. — 2013. — Vol. 66. — Is. 6. — Pp. 879–898. DOI: 10.1017/S0373463313000519.

32. Дорожко В. М. Экспертные представления об основных ситуационных моделях коллективного движения судов / В. М. Дорожко, А. Н. Лебедева // Проблемы управления. — 2006. — № 4. — С. 43–49.

33. Weng J. Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study / J. Weng, S. Xue // The Journal of Navigation. — 2015. — Vol. 68. — Is. 3. — Pp. 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.

34. Debnath A. K. Modelling collision potentials in port anchorages: application of the navigational traffic conflict technique (NTCT) / A. K. Debnath, H. C. Chin // The Journal of Navigation. — 2016. — Vol. 69. — Is. 1. — Pp. 183–196. DOI: 10.1017/S0373463315000521.

## REFERENCES

1. Tam, CheeKuang, Richard Bucknall, and Alistair Greig. “Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters.” *The Journal of Navigation* 62.3 (2009): 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
2. Vaskov, A. S., and M. A. Garashchenko. “The methods for conception of ship’s domain.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(84) (2017): 38–44.
3. Szlapczynski, Rafal, and Joanna Szlapczynska. “A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions.” *The Journal of Navigation* 68.6 (2015): 1041–1055. DOI: 10.1017/S0373463315000296.
4. Burmaka, I., C. Pasechnjuk, and M. Kulakov. “Use of regions of dangerous courses and dangerous speeds for choice of manoeuvre of divergence.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(83) (2017): 76–81.
5. Astrein, V., and A. L. Boran-Keshishyan. “Base model distributed system for preventing collisions.” *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta imeni admirala F.F. Ushakova* 1(14) (2016): 19–23.
6. Dmitriev, S. P., N. V. Kolesov, A. V. Osipov, and G. N. Romanycheva. “System of intelligent support of a ship navigator for collision avoidance.” *Journal of Computer and Systems Sciences International* 42.2 (2003): 256–263.
7. Vishnevetskiy, S. A. “Use of method potential fields for local ship route planning.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(80) (2016): 37–43.
8. Lebkowski, A., R. Smierzchalski, W. Gierusz, and K. Dziedzicki. “Intelligent ship control system.” *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation-TransNav* 2.1 (2008): 63–68.
9. Lazarowska, Agnieszka. “Ship’s trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimisation” *The Journal of Navigation* 68.2 (2015): 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
10. Zhao, Liangbin, and Guoyou Shi. “Maritime Anomaly Detection using Density-based Clustering and Recurrent Neural Network.” *The Journal of Navigation* 72.4 (2019): 894–916. DOI: 10.1017/S0373463319000031.
11. Szłapczyński, Rafał, and Hossein Ghaemi. “Framework of an evolutionary multi-objective optimisation method for planning a safe trajectory for a marine autonomous surface ship.” *Polish Maritime Research* 26.4 (2019): 69–79. DOI: 10.2478/pomr-2019-0068.
12. Kaminsky, Valery Yu., Dmitriy A. Skorokhodov, Sergey N. Turusov, and Alexandre V. Fedorov. “Principles of formation of anti-accident algorithms of amphibious hovercrafts.” *Marine Intelligent Technologies* 4-2(46) (2019): 39–45.
13. Karetnikov, Vladimir V., Sergey V. Kozik, and Artem A. Butsanets. “Risks assessment of applying unmanned means of water transport in the water area.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.6 (2019): 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.
14. Lentarev, A. A. *Morskiye rayony sistem obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya*. Vladivostok: Morskoy gosudarstvennyi universitet, 2004.
15. Lentarev, A. A. *Osnovy teorii upravleniya dvijeniem sudov*. Vladivostok: Morskoy gosudarstvennyi universitet, 2018.
16. *Obshchiye polozheniya ob ustanovlenii putey dvizheniya sudov*. No 9036. MO SSSR, 1987.
17. Taratynov, V. V. “Tselesobraznost’ razdeleniya morskikh putei.” *Morskoi flot* 9 (1969): 19–20.
18. Taratynov, V. P. *Sudovozhdeniye v stesnennyh rayonah*. M: Transport, 1980.
19. Vaskov, Anatoly S., and Alexander A. Grischenko. “Support tracking of parameters of the vessels movement.” *Marine Intelligent Technologies* 4-3(46) (2019): 77–82.
20. Grinyak, Victor M., Alexander S. Devyatilnyi, and Victor I. Lulko. “Use of automatic identification system data for estimation of marine traffic safety.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.

21. Grinyak, Victor M., Alexander S. Devyatisilnyi, and Alena V. Shulenina. "Estimation of the emotional load on the navigators under the conditions of heavy traffic." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.4 (2019): 640–651. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4- 640-651.
22. Zhen, Rong, Yongxing Jin, Qinyou Hu, Zheping Shao, and Nikitas Nikitakos. "Maritime anomaly detection within coastal waters based on vessel trajectory clustering and naïve Bayes classifier." *The Journal of Navigation* 70.3 (2017): 648–670. DOI: 10.1017/S0373463316000850.
23. Bishop, Christopher M. *Pattern recognition and machine learning*. New York, NY: Springer, 2006.
24. Bezdek, James C. *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. Boston: Springer US, 1981.
25. Yager, Ronald R., and Dimitar P. Filev. *Essentials of fuzzy modeling and control*. New York: John Wiley & Sons, 1994.
26. MarineTraffic. Web. 1 March 2020 <<http://www.marinetraffic.com>>.
27. Golovchenko, B. S., and V. M. Grinyak. "Information system for vessels traffic data capture." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(24) (2014): 156–162.
28. Grinyak, V. M., and A. V. Shurygin. RU 2018618729. Programma sbora trajektornyh dannyh o dvijenii sudov. Russian Federation, assignee. Publ. 19 July 2018.
29. Debnath, Ashim Kumar, and Hoong Chor Chin. "Navigational traffic conflict technique: a proactive approach to quantitative measurement of collision risks in port waters." *The Journal of Navigation* 63.1 (2010): 137–152. DOI: 10.1017/S0373463309990233.
30. Titov, Alexey V., Lama Barakat, and Anas Khaizaran. "Status and perspectives of E-Navigation technology implementation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.4 (2019): 621–630. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-621-630.
31. Silveira, P. A. M., A. P. Teixeira, and C. Guedes Soares. "Use of AIS data to characterise marine traffic patterns and ship collision risk off the coast of Portugal." *The Journal of Navigation* 66.6 (2013): 879–898. DOI: 10.1017/S0373463313000519.
32. Dorozhko, V. M., and A. N. Lebedeva. "Expert judgments about basic situational models of collective movements of ships." *Problemy Upravleniya* 4 (2006): 43–49.
33. Weng, Jinxian, and Shan Xue. "Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study." *The Journal of Navigation* 68.3 (2015): 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
34. Debnath, Ashim Kumar, and Hoong Chor Chin. "Modelling collision potentials in port anchorages: Application of the navigational traffic conflict technique (ntct)." *The Journal of Navigation* 69.1 (2016): 183–196. DOI: 10.1017/S0373463315000521.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Гриняк Виктор Михайлович —**  
доктор технических наук, профессор  
Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса  
690014, Российская Федерация, Владивосток,  
ул. Гоголя, 41  
Институт автоматики и процессов управления  
ДВО РАН  
690041, Российская Федерация, Владивосток,  
ул. Радио, 5  
Дальневосточный федеральный университет  
690091, Российская Федерация, Владивосток,  
ул. Суханова, 8  
e-mail: [victor.grinyak@gmail.com](mailto:victor.grinyak@gmail.com)

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

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Grinyak, Victor M. —**  
Dr. of Technical Sciences, professor  
Vladivostok State University of Economics  
and Service  
41 Gogolya Str., Vladivostok, 690014,  
Russian Federation  
Institute of Automation and Control Processes  
FEBRAS  
5, Radio Str., Vladivostok, 690041,  
Russian Federation  
Far Eastern Federal University  
8 Sukhanova Str., Vladivostok, 690091,  
Russian Federation  
e-mail: [victor.grinyak@gmail.com](mailto:victor.grinyak@gmail.com)

**Devyatisilnyi, Alexander S. —**  
Dr. of Technical Sciences,  
Chief Researcher  
Institute of Automation and Control Processes  
FEBRAS  
5, Radio Str., Vladivostok,  
690041, Russian Federation  
e-mail: [devyatis@iacp.dvo.ru](mailto:devyatis@iacp.dvo.ru)

**Иваненко Юрий Сергеевич —**  
старший преподаватель  
Дальневосточный федеральный университет  
690091, Российская Федерация, Владивосток,  
ул. Суханова, 8  
e-mail: ivanenko\_yus@dvfu.ru

**Ivanenko, Yuryi S. —**  
Senior lecturer  
Far Eastern Federal University  
8 Sukhanova Str., Vladivostok,  
690091, Russian Federation  
e-mail: ivanenko\_yus@dvfu.ru

*Статья поступила в редакцию 3 апреля 2020 г.*  
*Received: April 3, 2020.*