

УДК 004.9:621.8  
DOI

CC BY 4.0

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА И АЛГОРИТМА ПОИСКА ОБЪЕКТА В ВИДЕОПОТОКЕ НА ОСНОВЕ ПОРОГОВОГО СИГНАЛА РАСПОЗНАВАНИЯ

Лютикова М. Н., Панькина С. И.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова», Новороссийск,  
Российская Федерация, e-mail: mnlyutikova@mail.ru*

Проблема столкновений судов остается одной из наиболее острых в сфере безопасности морского судоходства, поскольку подавляющее большинство аварий вызвано человеческим фактором, нарушением международных правил предупреждения столкновений судов в море 1972 г. и неблагоприятными внешними условиями. Развитие концепции морских автономных надводных судов требует создания новых технических решений для автоматического распознавания навигационной обстановки. Целью исследования является повышение безопасности судоходства путем совершенствования методов распознавания навигационных знаков в системах автоматизированного управления движением судов. Данное исследование базируется на анализе современных средств навигации и стандартов Международной ассоциации маячных служб. В данной работе предложен алгоритм обработки видеопотока, включающий детекцию контура объекта, его нормализацию до эталонного размера и расчет коэффициента корреляции с шаблоном знака для верификации распознавания. Разработан и описан алгоритм идентификации навигационных знаков, позволяющий выделять объект на видеопотоке и накладывать на него маску. Ключевой особенностью алгоритма является использование минимальных описывающих контуров и порогового значения корреляции, что минимизирует риск ложных срабатываний. Выходной сигнал системы (1 или 0) однозначно свидетельствует о наличии или отсутствии искомого знака в кадре. Предложенная система, реализованная с помощью инструментов SimInTech, распознает навигационные огни и знаки в различных условиях видимости. Ее применение позволяет снизить влияние человеческого фактора при принятии решений и может быть интегрировано в интеллектуальные системы поддержки судоводителя. Перспективы дальнейшей работы включают расширение базы типов знаков и тестирование алгоритма в сложных навигационных сценариях.

**Ключевые слова:** безопасность судоходства, предотвращение столкновений, навигационные знаки, распознавание образов, компьютерное зрение, программное обеспечение, компьютерная модель, сигнал

## DEVELOPMENT OF BOTH A METHOD AND ALGORITHM FOR SEARCHING FOR AN OBJECT IN A VIDEO STREAM BASED ON A THRESHOLD RECOGNITION SIGNAL

Lyutikova M. N., Pankina S. I.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“State Maritime University named after Admiral F. F. Ushakov”,  
Novorossiysk, Russian Federation, e-mail: mnlyutikova@mail.ru*

The problem of ship collisions remains one of the most acute in the field of maritime safety, as the vast majority of accidents are caused by both human factors and violations of the International Convention for the Prevention of Collision at Sea – 72 rules as well as unfavorable external conditions. The development of autonomous marine vessels concept requires the creation of new technical solutions for automatic recognition of the navigational situation. The focus of the research is to increase the safety of navigation by improving the methods of navigational signals recognition in automated vessel traffic control systems. This study is based on an analysis of modern navigational aids and standards of the *International Organization for Marine Aids to Navigation*. An algorithm for processing a video stream, including detecting the contour of an object, bringing it to the reference size, and calculating the correlation coefficient with the sign template for recognition verification has been represented in this paper. An algorithm for identifying navigational signals has been developed and described, allowing selecting an object on a video stream and applying a mask to it. The key feature of the algorithm is the use of minimal descriptive contours and a correlation threshold to minimize the risk of false positives. The output signal of the system (1 or 0) clearly indicates the presence or absence of the desired character in the frame. The proposed system, implemented by means of SimInTech aids, recognizes navigational lights and signals in the conditions of different levels of visibility. Its use makes it possible to reduce the influence of the human factor in decision-making and can be integrated into intelligent seafarer's support systems. The prospects for further work include expanding the database of signal types and testing the algorithm in complex navigational scenarios.

**Keywords:** navigation safety, collision avoidance, navigational signals, pattern recognition, computer vision, software, computer model, signal

### Введение

Столкновения судов, сопровождающиеся человеческими жертвами, утратой транспортных средств и значительными экономическими потерями, представляют собой одну из наиболее приоритетных и актуальных проблем обеспечения безопасности морского транспорта на современном этапе его развития. В связи с этим задача предотвращения столкновений приобретает ключевое значение в системе безопасности судоходства и требует комплексного подхода к своему решению [1].

Анализ обстоятельств столкновений, происшедших вследствие ошибочных действий человека, свидетельствует о том, что в их основе лежат, как правило, нарушения требований Международных правил предупреждения столкновений судов в море 1972 г. (МППСС-72), неполное знание и неверная оценка навигационной обстановки, а также недостаток информации, необходимой для эффективного использования имеющихся на борту технических средств и принятия адекватного решения по предотвращению столкновения [2]. Указанные факторы в совокупности создают предпосылки для развития аварийной ситуации.

Существенное влияние на степень риска возникновения столкновения оказывают также внешние, объективно существующие факторы, среди которых особое место занимают неблагоприятные гидрометеорологические условия, такие как ограниченная видимость, штормовая погода, сложная ледовая обстановка. В этой связи приоритетной задачей обеспечения безопасности судоходства остается предотвращение столкновений между судами как наиболее опасного вида морских происшествий [3].

Активное развитие концепции морских автономных надводных судов (Maritime Autonomous Surface Ships – MASS) открывает новые перспективы для обеспечения безопасности навигации. Внедрение автономных технологий позволяет существенно снизить негативное влияние человеческого фактора, который, по различным оценкам, является причиной подавляющего большинства морских аварий. Такой переход к широкому использованию автономных технологий сопряжен с необходимостью решения целого ряда сложных технических задач. Ставится задача создания систем, способных в автоматическом режиме воспринимать окружающую обстановку с использованием различных сенсоров, корректно интерпретировать получаемые данные и на их основе принимать адекватные решения по управлению судном, включая решения по расхождению с другими объектами [4].

Для достижения целей обеспечения безопасности судоходства разрабатываются и постоянно совершенствуются правила и рекомендации, основанные на результатах научных исследований и учитывающие требования действующих международных конвенций и кодексов.

Обеспечение безопасного движения судов во многом определяется эффективностью функционирования системы навигационных знаков. Навигационные знаки, включая плавучие буи и стационарные знаковые сооружения, выполняют функцию визуальных ориентиров, предупреждают судоводителей о навигационных опасностях, обозначают границы судоходных каналов и подходов к портам. В сочетании с картографическими материалами и современными электронными средствами навигации они создают надежную основу для принятия капитаном и экипажем безопасных решений при управлении судном.

**Цель исследования** – повышение безопасности судоходства путем совершенствования методов распознавания навигационных знаков в системах автоматизированного управления движением судов.

### Материалы и методы исследования

Система морской навигации представляет собой комплекс средств, предназначенных для обеспечения безопасного движения судов. Навигационные знаки формируют базу «первичной» информации, на которую операторы полагаются в ранних этапах планирования курса и в случае временных ограничений. Комплексная система обеспечивает синхронность между физическими признаками на воде и виртуальными данными на экранах [5].

Основные принципы функционирования системы навигационных знаков заключаются в их стандартизации (единообразии применения в различных регионах), поддержании актуальности информации об их местоположении и характеристиках, а также в интеграции с международными правилами плавания [6]. Системы навигационных знаков ориентированы на обеспечение процесса «согласования» действий между береговыми властями, отвечающими за оборудование акваторий, и судоводителями, использующими эти знаки для безопасного плавания. Знаки устанавливаются именно там, где это необходимо для своевременного выявления потенциальных рисков, организации направлений движения судов и обеспечения безопасной дистанции между ними в узких местах, на подходах к гаваням, а также для обозначения мелей, затонувших объектов и других опасных зон [7].

Классификация плавучих знаков

<i>Латеральные знаки</i>	
	<p><i>Латеральные знаки</i> (знаки левой и правой стороны) – выставляются по принципу ограждения сторон фарватера. Стороны ограждаются буйами или вежами. На корпусах буйов могут наноситься цифры или буквы. Нумерация буйов или обозначение буквами в алфавитной последовательности ведется со стороны моря. В регионе А на латеральных знаках, выставляемых на левой и правой сторонах фарватера, зажигаются соответственно красные и зеленые огни. В регионе В на латеральных знаках, выставляемых на левой и правой сторонах фарватера, зажигаются соответственно зеленые и красные огни</p>
<i>Кардинальные знаки</i>	
	<p><i>Кардинальные знаки</i> выставляются с целью ограждения навигационных опасностей (например, мель, затопленный объект, иные подводные препятствия, создающие опасность судоходству). Существует четыре кардинальных знака, и каждый из них имеет отношение к своей стороне света: северный знак, восточный, южный или западный</p>
<i>Знаки, ограждающие отдельные опасности</i>	
	<p><i>Знаки, ограждающие отдельные опасности</i> незначительных размеров, выставляются непосредственно над опасностью и могут быть обойдены с любой стороны. Окрашены в черный цвет с одной или несколькими черными полосами</p>
<i>Осевые знаки</i>	
	<p><i>Осевые знаки, или знаки чистой воды</i>, служат для обозначения оси фарватера или в качестве подходных. Они представляют собой буйи сферической или столбовидной формы и вежи с топовой фигурой в виде красного шара. Знаки окрашены вертикальными красными и белыми полосами.</p>
<i>Знаки специального назначения</i>	
	<p><i>Знак специального назначения</i> устанавливается для обозначения границ специальных зон: купальных, рыболовецких, якорных стоянок, военных маневров</p>

Примечание: составлена авторами на основе источника [8].

Навигационные знаки помогают морякам ориентироваться, удерживать правильный курс и избегать опасных участков. Их можно разделить на несколько типов (таблица).

Для обучения и тестирования алгоритмов распознавания критически важны качественные и репрезентативные наборы

данных. В отличие от сферы автономных автомобилей, где существуют обширные публичные базы дорожных знаков, в морской области публичных размеченных наборов данных с морскими навигационными знаками крайне мало.

Для обучения и тестирования алгоритмов распознавания критически важны каче-

ственные и репрезентативные наборы данных [9]. В отличие от сферы автономных автомобилей, где существуют обширные публичные базы дорожных знаков, в морской области публичных размеченных наборов данных с морскими навигационными знаками крайне мало.

Разработке методов и алгоритмов классификации и распознавания объектов на изображениях посвящены многие работы зарубежных и российских авторов [10, 11].

Существующие базы имеют следующие особенности [12]:

- небольшое количество кадров, что делает базу недостаточно репрезентативной для тестирования детектора знаков;

- ограниченное количество классов знаков, что делает невозможной оценку обобщаемости алгоритма на большое количество классов знаков;

- количество изображений, приходящихся на один класс, небольшое, что усложняет тестирование классификаторов, требующих больших обучающих выборок.

Для проведения исследований необходимо формировать собственные наборы данных. Источниками изображений могут служить:

1. Кадры, полученные с широкоформатных камер (ХЗ), установленных на судах.

2. Фотографии с мобильных устройств и видеорегистраторов, сделанные во время рейсов.

3. Изображения из открытых источников, навигационных карт и лоций.

В данной работе авторами представлен один из примеров реализации модели распознавания и классификации навигационного знака при сравнении контура шаблонного изображения в записанном видеопотоке. Методы цифровых технологий обеспечивают необходимую точность восстановления и фильтрации изображений при динамических искажениях кадра [13].

Основной задачей выступает классификация, поиск и распознавание объектов (в виде навигационных знаков) при автономном безэкипажном судовождении с использованием шаблонных изображений и входного сигнала в виде видеопотока [14].

На основании возможностей библиотек видеообработки в SimInTech разработан ал-

горитм распознавания навигационных морских знаков из видеопотока, фиксированного с движущегося в море судна.

При решении данной задачи ставится вопрос сопоставления контура шаблона и соответствующего кадра изображения, и исключения несоответствия. Одним из возможных методов установления контроля точности и достоверности и дальнейшей корректировки изображения устанавливаются пороговые значения, рассчитывается коэффициент корреляции.

Для определения меры сходства используем нормализованный кросс-коэффициент корреляции. Значение нормализованного коэффициента корреляции находится в диапазоне  $-1 \leq R_p \leq 1$ , но для точности сопоставления изображений требуется, чтобы коэффициент корреляции по значению был близок к единице.

Для этого будет произведено сравнение величины коэффициентов корреляции анализируемого изображения с разными эталонными и будем считать, что анализируемое изображение соответствует тому эталону, для которого модуль коэффициента корреляции максимален и превышает некоторый пороговый уровень. При этом коэффициент  $R_p$  корреляции изображения с  $p$ -м эталоном может быть вычислен по формуле

$$R_p = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (x_i^{(p)} - \bar{x}^{(p)})}{\sigma_x \cdot \sigma_{x^{(p)}}}, \quad (1)$$

где  $x_i, x_i^{(p)}$  – яркость по элементу текущего фрагмента изображения и эталонного;

$\bar{x}, \bar{x}^{(p)}$  – математическое ожидание (среднего значения) яркости объекта и эталона;

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

$$\sigma_{x^{(p)}} = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i^{(p)} - \bar{x}^{(p)})^2} - \text{среднее}$$

квадратическое отклонение.

Для поиска шаблона в другом изображении с двумя сигналами используется корреляционная функция вида [15]:

$$R(u, v) = \frac{\sum_x \sum_y (f(x, y) - \bar{f}_{(u,v)}) \cdot (t(x-u, y-v) - \bar{t}_{(u,v)})}{\sqrt{\sum_x \sum_y ((f(x, y) - \bar{f}_{(u,v)})^2) \cdot \sqrt{\sum_x \sum_y ((t(x-u, y-v) - \bar{t}_{(u,v)})^2)}, \quad (2)$$

где  $f(x, y)$  – исходное изображение;

$t(u, v)$  – искомый шаблон;

$\bar{f}(x, y)$  – среднее значение интенсивности изображения;

$\bar{t}(u, v)$  – среднее значение интенсивности шаблона.

Сопоставление изображения с помощью определения взаимной корреляции является оптимальным решением, позволяющим определить отличие объекта в видеопотоке от эталонного.

### Результаты исследования и их обсуждение

В разработанной схеме обработки видеопотока программы SimInTech реализован следующий алгоритм идентификации объекта.

На вход блока подаются три сущности: эталонный контур искомого знака (шаблон), кадр видеопотока, на котором этот шаблон был впервые обнаружен, а также массив всех найденных контуров с привязкой к соответствующим кадрам. Поскольку изображение знака находится внутри детектированного контура, активируется свойство «Использовать минимальные описанные контуры», позволяет преобразовать исходные контуры в минимальные выпуклые многоугольники, описывающие объект.

Далее выполняется нормализация всех полученных контуров. С помощью свойств «Нормализованный размер контура по оси X» и «Нормализованный размер контура по оси Y» каждый контур (и область внутри него) приводится к заданному эталонному размеру.

После нормализации для каждого контура рассчитывается коэффициент корреляции. Сравниваются не сами контуры, а изображения, находящиеся внутри них, с исходным шаблоном знака. В свойстве «Порог коэффициента корреляции» задается минимальное значение, при превышении которого объект считается распознанным.

Таким образом, при расчете имеем результат с изображением выбранной области и наложенной на нее маской судового знака (рис. 1) [15].

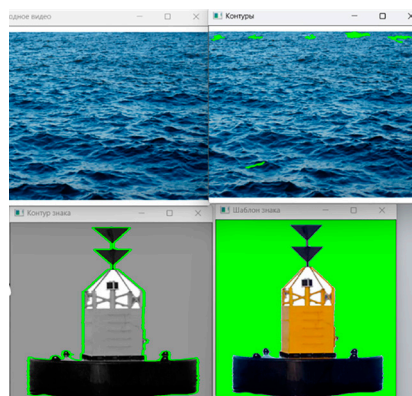


Рис. 1. Алгоритм распознавания и наложения контура

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

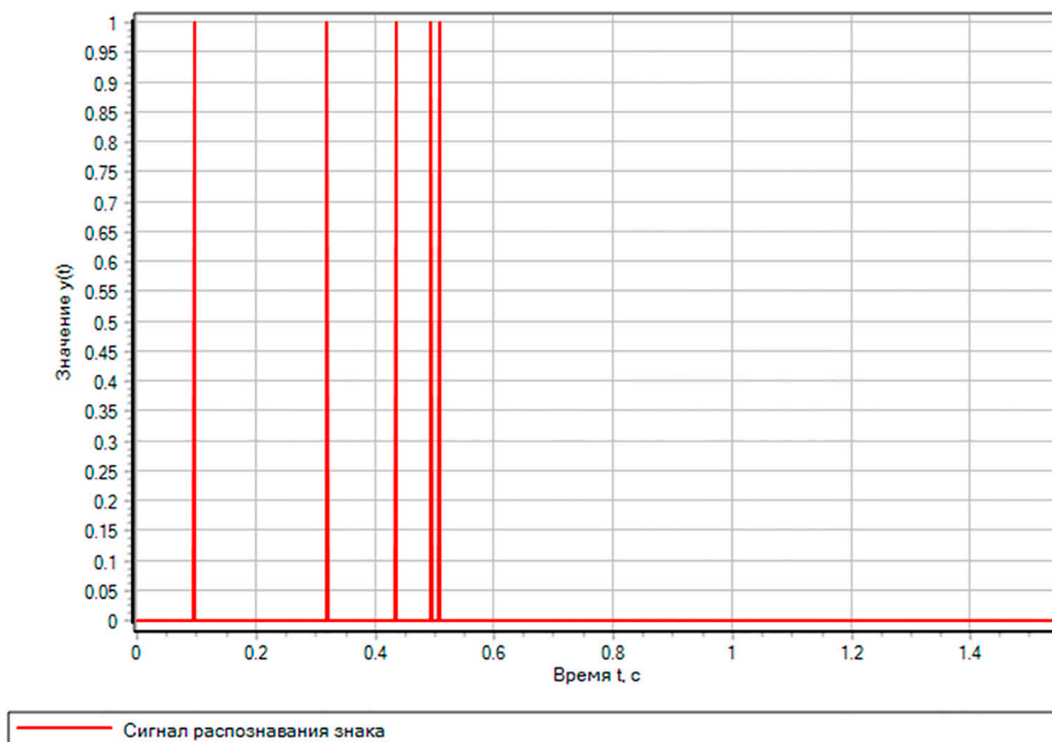


Рис. 2. График распознавания детектирования знака

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Выходной сигнал распознавания принимает значение «1» (рис. 2), что свидетельствует об успешном нахождении знака в видеопотоке. Корректность поиска дополнительно подтверждается визуально – наложенный на объект контур исключает вероятность ложного срабатывания.

Таким образом, на выходе формируется изображение выбранной области с наложенной маской судового знака.

### Заключение

Система навигационных знаков обеспечивает безопасность движения судов, особенно в открытом море и при подходе к портам. Она выполняет несколько важнейших функций: позволяет судну точно определить свое положение относительно фарватера; предупреждает о подводных камнях, рифах, мели и других опасностях; обеспечивает возможность безопасного движения ночью и в условиях ограниченной видимости; помогает регулировать движение судов в узких проливах, устьях рек и у портов.

Разработанная система с помощью SimInTech успешно распознает навигационные огни и знаки, учитывая различные условия видимости и характеристики объектов, а также помогает повышать безопасность судоходства, снижать влияние человеческого фактора и может быть использована для интеллектуальных систем поддержки судоводителя.

В дальнейшем систему можно расширить: добавить новые типы знаков, повысить точность распознавания и протестировать ее в более сложных сценариях навигации.

### Список литературы

1. Вагушенко Л. Л., Вагушенко А. А. Улучшение поддержки решений по предупреждению столкновений // Судовождение. 2018. № 28. С. 24–34. DOI: 10.31653/2306-5761.27.2018.24-34.
2. Михалев А. С., Меньшенин А. Н., Кузнецов А. С., Кулаков Е. Д. Концептуальное проектирование интеллектуальной системы поддержки принятия решений по обнаружению потенциально опасных объектов в видеопотоке с интроскопа // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 1. С. 62–68 URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39909> (дата обращения: 30.03.2026). DOI: <https://doi.org/10.17513/snt.39909>.
3. Долотов Н. А., Паламарчук Н. А. Международные правила предупреждений столкновений судов в море, 1972 г. М., 1982. 87 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1772191805&tld=ru&lang=ru&name> (дата обращения: 20.03.2026).

4. Астреин В. В., Филатов В. И. Принципы автоматического мониторинга и контроля движения судна в режиме реального времени // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 1. Ч. 1. С. 158–168. DOI: 10.37220/MIT.2023.59.1.020.

5. Титов А. В., Баракат Л. А. Перспективы технологического развития и внедрения безэкипажных судов // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 1. № 3 (41). С. 94–103. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_36360142\\_12738015.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_36360142_12738015.pdf) (дата обращения: 05.03.2026).

6. Саранчин А. И., Завьялов В. В. Системы автоматического управления в навигационных приборах: учебное пособие. Владивосток: Морской государственный университет, 2011. 75 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1772191988&tld=ru&lang=ru&name> (дата обращения: 05.03.2026).

7. Гладков Г. Л., Ребковец А. В. Развитие навигационного оборудования внутренних водных путей // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. СПб., 2012. № 1 (13). С. 16–27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-navigatsionnogo-oborudovaniya-vnutrennih-vodnyh-putey/viewer> (дата обращения: 05.03.2026).

8. ГОСТ 26600-98. Знаки навигационные внутренних судоходных путей. [Электронный ресурс]. URL: <https://amurvp.ru/wp-content/uploads/2023/dok/26600-98.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).

9. Пятакович В. А., Василенко А. М., Пятакович Н. В. Математическая модель распознавания и классификации морского объекта, реализующая аппарат нечетких множеств // Вестник евразийской науки. 2017. Т. 9. № 1 (38). С. 49. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/49TVN117.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

10. Мокшин В. В., Сайфудинов И. Р., Кирпичников А. П., Шарнин Л. М. Распознавание образов транспортных средств на основе эвристических данных и машинного обучения // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 130–137. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_25588584\\_18704965.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_25588584_18704965.pdf) (дата обращения: 23.03.2026).

11. Yuan Y., Xiong Z., Wang Q. An Incremental Framework for Video-Based Traffic Sign Detection, Tracking, and Recognition, in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2017. Vol. 18. Is. 7. P. 1918–1929. DOI: 10.1109/TITS.2016.2614548.

12. Афонасенко А. В., Елизаров А. И. Обзор методов распознавания структурированных символов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2008. № 2–1. С. 83–88. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-raspoznvaniya-strukturirovannyh-simvolov> (дата обращения: 13.03.2026).

13. Патент № 2848977 Российская Федерация, МПК G06F 17/17 (2006.01). Цифровой сверточный интерполятор: № 2025108505: заявл. 03.04.2025; опубл. 22.10.2025/ Данцевич И. М. // Патент. информ.ру: электрон, справочник патентов России. 11 л. URL: <https://www1.fips.ru/objspstor-age/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/848/977/%D0%98%D0%97-02848977-00001/document.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).

14. Ali B., Sadekov R. N., Tsodokova V. V. A Review of Navigation Algorithms for Unmanned Aerial Vehicles Based on Computer Vision Systems // Gyroscopy Navig. 2022. № 13. S. 241–252. DOI: 10.1134/S2075108722040022.

15. Данцевич И. М., Лютикова М. Н. Алгоритм распознавания с локатора препятствий на основе дерева анализа сигналов для универсального многоцелевого буксируемого комплекса // Морские интеллектуальные технологии. 2025. Т. 1 № 1. С. 189–195. DOI: 10.37220/MIT.2025.67.1.024.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Финансирование:** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

**Financing:** The research was performed without external funding.