

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗНАНИЕ: ДОСТИЖЕНИЯ, ВОЗМОЖНОСТИ ИННОВАЦИЙ

---

УДК 519.68:15:681.5

Гриняк Виктор Михайлович, Головченко Борис Сергеевич

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса*

*Владивосток, Россия*

## Многоуровневая модель идентификации опасных ситуаций на морских акваториях

*Статья посвящена проблеме диспетчеризации движения судов в условиях высокой интенсивности движения. Рассматривается ряд подходов, реализующих идею генерации тревожных сигналов с выделением различных уровней опасности. Предложена система правил, апеллирующая к модельным представлениям типа «судно – судно» и основанная на многозначной логике принятия решений, позволяющая уменьшить неопределенности при управлении коллективным движением судов. Приводятся результаты моделирования, подтверждающие конструктивность предлагаемых идей.*

**Ключевые слова и словосочетания:** управление движением судов, безопасность мореплавания, экспертная система.

### Введение

Обеспечение навигационной безопасности движения судов является актуальной проблемой эксплуатации водных транспортных путей. В зонах высокой интенсивности движения её решение возложено на бортовые и береговые системы управления движением судов (СУДС) [1]. В соответствии с общепринятой концепцией построения таких систем их задачи реализуются с использованием измерительной информации, доставляемой радарными и/или спутниковыми средствами траекторных измерений – транспондерами.

Сложившаяся судоводительская практика, правила которой прямо регламентируют, что управление судном есть исключительное право его капитана, отводит СУДС (как береговым, так и бортовым) роль особого инструмента информирования судоводителя о возможном наступлении опасной ситуации (столкновении) [2, 3].

Такое информирование производится путём реализации следующих функций системы:

– отображение текущего местоположения наблюдаемых объектов и их скоростей;

- прогнозирование движения объектов на заданном временном интервале;
- определение объектов, движение которых является потенциально опасным (ведёт к столкновению), и выработка тревожных сигналов.

Последняя задача является центральной функцией, реализующей целевое назначение СУДС. Генерация тревожного сигнала по какому-либо объекту или их группе служит указанием судоводителю (и/или оператору СУДС), на основании которого он принимает решение об изменении курса и скорости движения; при этом число объектов, для которых в текущий момент времени может быть выработан тревожный сигнал, увеличивается с ростом интенсивности движения. Данное обстоятельство приводит к расширению множества управленческих решений, способных обеспечить безопасное движение, и возрастанию неопределённости при принятии конкретного решения.

Одним из подходов, направленных на разрешение неопределённостей, вызванных множественностью тревожных сигналов, является выделение различных уровней опасности ситуации [2, 4] («очень опасная», «опасная», «почти безопасная» и т.п.), дающих возможность судоводителю упорядочить свои действия согласно установленному приоритету (в случаях, когда одновременно присутствуют несколько тревожных сигналов, принимать решения по наиболее опасным из них). В настоящей работе рассматриваются базовые элементы концепции и моделей многоуровневой системы оценки состояния коллективной навигационной безопасности морской акватории, действующей на основе бортовых или береговых средств траекторных измерений. Разрабатываемые модели используются авторами при создании новых перспективных технологий управления движением судов.

### **Основные модельные представления**

Обращение к автоматизированным средствам информационного обеспечения требует предельно формализованных представлений о понятии «опасная ситуация», и здесь следует обратиться к анализу опыта практического судовождения, показывающего, что главным условием безопасного движения является недопущение чрезмерного сближения судов. При таком подходе к интерпретации опасности её формальным критерием служит уменьшение расстояния между объектами до некоторой критической величины  $R^*$ , определяющей своего рода «зону безопасности» вокруг судна (корабельный домен) [5].

При построении моделей оценки коллективной безопасности прибегаем к традиционному приближению – построению модели безопасности «судно – судно» для каждой пары судов.

Параметры относительного движения двух судов могут быть представлены в виде вектора [6]:

$$s(t) = (r(t), \eta_r(t), v(t), \dot{v}(t), \ddot{v}(t), \dots, \eta_v(t), \dot{\eta}_v(t), \ddot{\eta}_v(t), \dots)^T,$$

где  $r(t)$  – расстояние между судами в момент времени  $t$ ,

$\eta_r(t)$  – азимут относительного положения судов,

$v(t)$  – скорость относительного движения судов,

$\eta_v(t)$  – направление вектора скорости относительного движения судов (рис. 1).

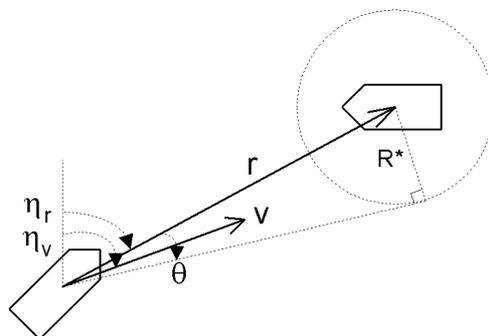


Рис. 1. Направление вектора скорости относительного движения судов

Сущность задачи оценки безопасности «судно-судно» состоит в этом случае в определении по навигационным измерениям вектора  $s(t)$  как текущих, так и прогнозируемых значений и сопоставлении результатов с заданным критерием опасности.

Для формирования критериев, реализующих идею выделения различных уровней опасности, можно использовать несколько подходов.

1. Первый, и наиболее очевидный, состоит в формальном учёте вероятностного характера вектора  $\hat{s}(t)$  ( $\hat{\cdot}$  – символ оценки), обусловленного влиянием случайных погрешностей навигационных измерений.

Рассмотрим экстремальную задачу

$$\hat{r}_{\min} = \min_{t \in [t_0, t_n]} \hat{r}(t),$$

где  $\hat{r}_{\min}$  – оценка минимальной дистанции между судами на заданном интервале времени  $[t_0, t_n]$ , характеризующаяся некоторой функцией распределения, дающей возможность определить вероятность  $P(r_{\min} < R^*)$ . Введя множество значений вероятностей  $\{P_i\}$  (порогов), например  $P_1 < P_2 < \dots < P_m$ , получим множество уровней опасности, соответствующих большей или меньшей вероятности наступления опасной ситуации.

2. Другой многоуровневый критерий основан на неформальном учёте траекторных свойств наблюдаемых объектов. Пусть  $f_{\dot{v}}(x)$  и  $f_{\dot{\eta}_v}(x)$  – известные функции плотности распределения погрешностей оценивания соответствующих компонент вектора  $s(t)$ , позволяющие вычислить вероятности  $P(\dot{v} \neq 0)$  и  $P(\dot{\eta}_v \neq 0)$ . Если на интервале наблюдения для некоторой наперёд заданной пороговой вероятности  $P_*$  имеют место условия

$$P(\dot{v} \neq 0) > P_*, P(\dot{\eta}_v \neq 0) > P_*, \quad (1)$$

то принимается решение о том, что, по крайней мере, один из двух наблюдаемых объектов является маневрирующим. Маневрирующие и неманеврирующие объекты с точки зрения рассматриваемой задачи оценки коллективной безопасности имеют ряд принципиальных различий. Во-первых, при внешнем наблюдении полностью достоверный прогноз траектории маневрирующего объекта невозможен. Во-вторых, если исходить из принятого на практике положения, что маневрирование судна, как правило, свидетельствует о попытке судоводителя придать движению безопасный характер и о его контроле над ситуацией, то для маневрирующих объектов вербальный уровень опасности заведомо ниже, чем для неманеврирующих. В соответствии с этими представлениями может иметь место следующая дискретная система правил, соотносящая условия (1) с условием

$$P(r_{\min} < R^*) > P_1 \quad (2)$$

с различными уровнями опасностей (табл. 1). Здесь  $d$  – числовая величина (детектор манёвра), равная 1, если хотя бы одно из условий (1) истинно, и 0 в противном случае. Таким образом, если для двух конкретных судов условие (2) истинно, и  $d = 0$  (то есть суда движутся прямолинейно и равномерно), то имеет место высший уровень тревоги – RED (ситуация 1). Если условие (2) истинно и  $d = 1$  (то есть зафиксировано маневрирование судов), то имеет место средний уровень тревоги – YELLOW (ситуация 2). Если условие (2) ложно, то имеет место безопасная ситуация – GREEN (ситуация 3 и 4) [7, 8].

Таблица 1

	Условие (2)	d	Уровень опасности
1	+	0	RED
2	+	1	YELLOW
3	-	0	GREEN
4	-	1	GREEN

3. Наконец, ещё один многоуровневый критерий опасности также учитывает траекторные свойства объектов, но при этом не содержит в явном виде вероятностных составляющих. Введём величину  $\theta$  – угол, оп-

ределяемый расстоянием между судами и критическим расстоянием  $R^*$  (рис. 1). Рассмотрим два условия [3]:

$$|\eta_r - \eta_v| < \theta, \quad (3)$$

$$|\dot{\eta}_r - \dot{\eta}_v| < \dot{\theta}. \quad (4)$$

Условие (3) формализует опасную ситуацию при равномерном и прямолинейном движении судов, условие (4) дополняет его для случаев, когда суда маневрируют. Решение о той или иной степени опасности сложившейся навигационной ситуации может быть принято исходя из системы правил (табл. 2). Так, если условия (3) и (4) истинны, значит, имеет место «очень опасная» ситуация (высший уровень тревоги, в таблице – правило 1). Если условие (3) ложно, а (4) истинно, то имеет место «опасная» ситуация (в таблице – правило 2) и т.д.

Таблица 2

	Условие (3)	Условие (4)	Уровень опасности
1	+	+	Очень опасная
2	-	+	Опасная
3	+	-	Почти безопасная
4	-	-	Безопасная

Таким образом, первое правило таблицы соответствует ситуации, когда возникновение опасности возможно без изменения текущих свойств движения; при реализации второго возникновение опасности может иметь место лишь при маневрировании судов; наконец, третье и четвертое правило – это случаи, когда возникновение опасности при сохранении текущих свойств движения судов маловероятно.

Хотя каждый из рассмотренных критериев позволяет в принципе решить задачу выделения различных уровней опасности, следует иметь в виду, что для первых двух приведённых критериев назначение пороговых вероятностей  $P_i$  и  $P^*$  является в значительной степени субъективным, даже если соответствующие идеи и подходы представляются научно и практически обоснованными. Это способно существенно ограничить их применимость в условиях действующей формально-правовой базы СУДС.

Тем не менее, все три рассмотренных критерия могут быть реализованы функциями генерации тревожных сигналов, если иметь в виду их следующие свойства:

- несмотря на наличие случайной составляющей в навигационных измерениях, третий критерий не содержит непосредственных оценок статистической достоверности выполнения условий (3) и (4);
- высший уровень опасности по третьему критерию потенциально может интерпретироваться по второму и как высший (RED) и как средний (YELLOW); два низших уровня опасности по третьему критерию

всегда соответствуют низшему уровню по второму (GREEN); возможна оценка статистической достоверности выводов по второму критерию;

– выводы второго и третьего критериев могут быть произвольно интерпретированы первым критерием путём соответствующего подбора величин  $P_i$ ;

– при большом количестве одновременно обрабатываемых СУДС объектов любого из рассмотренных критериев может быть недостаточно для удачного разделения уровней опасности.

Учитывая всё вышесказанное, представляется перспективным использовать на практике следующую систему принятия решений: в качестве основных руководствоваться показаниями третьего критерия, а в случае, если он выдаёт одинаковый уровень тревоги для чрезмерно большого числа судов, дополнить (в рамках каждого уровня) его показания вторым и далее, при необходимости, первым.

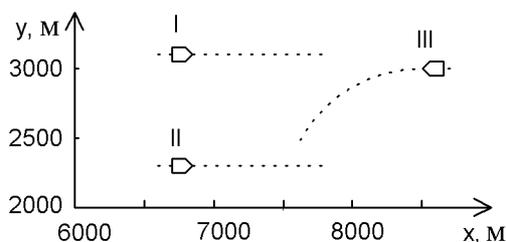


Рис. 2. Моделируемые траектории движения судов

### Результаты моделирования

Компьютерное моделирование рассматриваемой задачи выделения уровней опасности проводилось в условиях, приближенных к характерной навигационной обстановке залива Петра Великого (Владивосток, Находка), и подтвердило ожидаемый эффект сокращения в условиях насыщенного судопотока одновременно генерируемых тревожных сигналов. Приведённые рисунки иллюстрируют один из фрагментов численного эксперимента: на рис. 2 показаны траектории движения трёх судов (I и II движутся прямолинейно и равномерно, III – маневрирует), а на рис. 3 – соответствующие ситуации графики уровней опасности. Верхние рисунки иллюстрируют работу для пар судов I – III (рис. 3а) и II – III (рис. 3с) второго критерия, нижние рисунки (3b и 3d), соответственно, третьего.

В заключение перечислим основные результаты настоящей статьи. В работе сформулированы основы технологии и дана общая концепция решения проблемы навигационной безопасности на морских акваториях; рассмотрена модель безопасности коллективного движения судов как модель безопасности «судно – судно»; предложены критерии, реализующие идею генерации тревожных сигналов с выделением различных уровней опасности; сформирована система правил, основанная на многозначной логике принятия решений и уменьшающая неопределенность при работе СУДС.

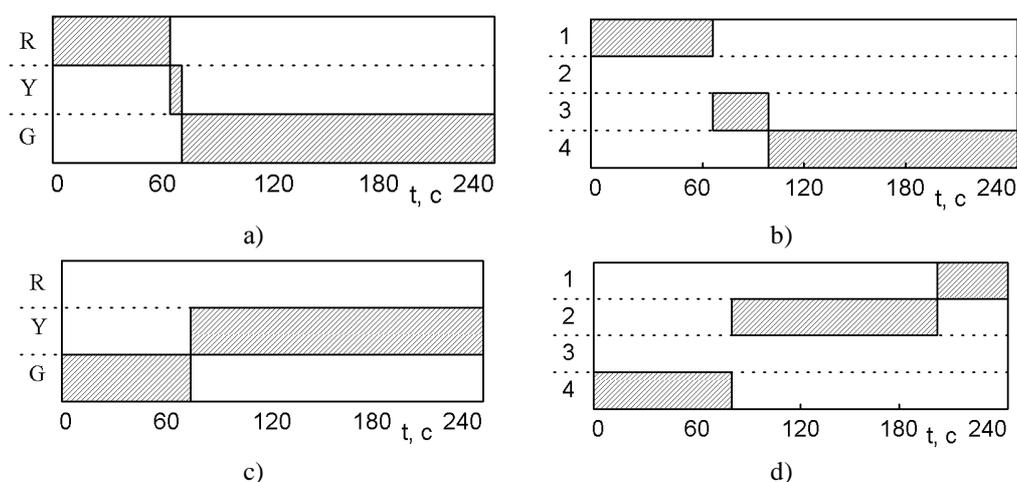


Рис. 3. Результаты моделирования системы оценки уровня опасности «судно-судно»

Результаты исследования ориентированы на расширение функциональных возможностей существующих береговых и бортовых систем управления движением судов.

1. ОАО Норфес. Режим доступа: <http://www.norfes.ru/>.
2. Коноплёв М.А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения / М.А. Коноплёв // Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – №2. – С. 34 – 39.
3. Кургузов С.С. Определение реальной дистанции расхождения судов по информации АИС / С.С. Кургузов, М.П. Хаджинов // Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – №2. – С. 31 – 33.
4. Inoue K. Evaluation Method of Ship-handling Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways / K. Inoue // The J. of Navigation. – 2000. – Vol. 53. – №1. – P. 167 – 180.
5. Pietrzykowski Z. The ship domain – a Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area / Z. Pietrzykowski, J. Uriasz // The J. of Navigation. – 2009. – Vol. 62. – №1. – P. 93 – 108.
6. Wilson P.A. A Line Of Sign Counteraction Navigation Algorithm For Ship Encounter Collision Avoidance / P.A. Wilson, C.J. Harris, X. Hong // The J. of Navigation. – 2003. – Vol. 56. – №1. – P. 111 – 121.
7. Гриняк В.М. Распознавание опасных ситуаций системами управления движением судов / В.М. Гриняк, Б.С. Головченко, В.Н. Малько // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №8. – С. 11 – 14.
8. Девятисильный А.С. Прогнозирование опасных ситуаций при управлении движением на море / А.С. Девятисильный, В.М. Гриняк // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2004. – №3. – С. 127 – 136.