

## ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТРАФИКА АКВАТОРИИ КАК МЕРЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА СУДОВОДИТЕЛЯ

В. М. Гриняк, А. В. Шуленина (Владивосток)

Навигационная безопасность коллективного движения судов является актуальной проблемой эксплуатации водных транспортных путей [1,2]. В зонах интенсивного судоходства она обеспечивается широким комплексом средств и инструментов: бортовыми навигационными средствами, береговыми системами управления движением судов (СУДС), правилами судоходства (в основе которых лежат Международные правила предупреждения столкновений судов в море (МППСС-72) [3]). При выработке правил судоходства для конкретной акватории, общие принципы дополняются локальными положениями, определяемыми её спецификой.

Результаты известных исследований [4] показывают, что в условиях интенсивного трафика безопасность движения судов может быть обеспечена только при соблюдении ими определённой схемы движения, зависящей от географии акватории.

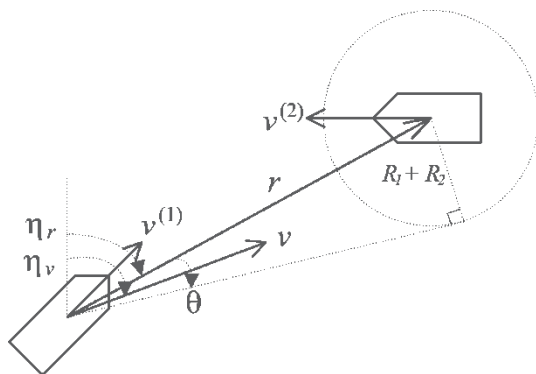
Судовождение включает в себя множество неформальных положений, связанных с личным и коллективным профессиональным опытом работы в различных условиях [5, 6] (погода, время суток, квалификация экипажа, менталитет участников движения и т.п.). Поэтому выработка схемы движения судов конкретной акватории возможна лишь на основе экспертного анализа различной информации об акватории с учетом сложившейся судоводительской практики [7,8].

Наряду с техническими и природными факторами при оценке опасности схемы движения следует учитывать также характер психологической, эмоциональной нагрузки на судоводителей. Она обусловлена, в том числе, сложностью окружающей навигационной обстановки и принятия управленческих решений. Возможным подходом к формализации такой сложности является оценка множества опасных и безопасных значений скорости и курса управляемого судна в условиях коллективного движения [9].

В настоящей работе рассматривается модель оценки эмоциональной нагрузки на судоводителей, основанная на классической идее «области манёвра» Дегре и Лефевра [10,11]. Метрикой (мерой) нагрузки является степень и характер заполнения соответствующей диаграммы «скорость-курс»; в простейшем варианте метрика представляется долей опасных значений скоростей и курсов движения судна. Определение характерных значений метрики в той или иной точке акватории даёт возможность оценить степень опасности схемы движения, открывает перспективную возможность выработки рекомендаций по её изменению в сторону менее опасных конфигураций.

### Основные модельные представления

Рассмотрим модель опасной ситуации для каждой пары судов, находящихся на акватории. Пусть имеются два судна с координатами  $x^{(1)}$ ,  $y^{(1)}$  и  $x^{(2)}$ ,  $y^{(2)}$  и компонентами вектора скорости  $v_x^{(1)}$ ,  $v_y^{(1)}$  и  $v_x^{(2)}$ ,  $v_y^{(2)}$ . Будем описывать их взаимное относительное движение набором величин  $s = (r_x, r_y, v, \eta_v)$ , где  $r_x = x^{(2)} - x^{(1)}$ ,  $r_y = y^{(2)} - y^{(1)}$  – компоненты вектора относительного положения судов  $\mathbf{r}$ ,  $v = \sqrt{(v_x^{(1)} - v_x^{(2)})^2 + (v_y^{(1)} - v_y^{(2)})^2}$  – скорость относительного движения судов,  $\eta_v$  – направление вектора  $\mathbf{v}$  скорости относительного движения судов (рис. 1).



**Рис. 1. Модель относительного движения пары судов**

Условием безопасного коллективного движения является соблюдение зоны навигационной безопасности судна [12], называемой также «корабельным доменом». В настоящей работе рассматривается корабельный домен статического типа, жёстко привязанный к судну с номером  $n$  и интерпретируемый окружностью заданного радиуса  $R_n$ . Введем следующие величины (рис. 1):  $\eta_r$  – азимут вектора  $\mathbf{r}$ ,  $\theta$  – угол, определяемый расстоянием между судами и размерами доменов (считается, что в безопасном состоянии корабельные домены не должны «вторгаться» друг в друга);  $T$  – время, оставшееся до максимального сближения судов (ТСРА);  $T_*$  – пороговое значение для времени  $T$ .

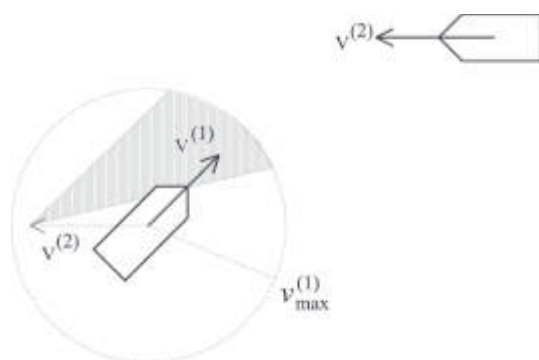
Потенциально опасное сближение двух судов можно формализовать следующим образом:

$$|\eta_v - \eta_r| < \theta, \tag{1}$$

$$0 < T < T_*. \tag{2}$$

Условие (1) формализует опасную ситуацию при равномерном и прямолинейном движении судов, условие (2) отбирает из общего массива те суда, у которых время до сближения меньше порогового.

Будем считать, что управляемым является первое судно. Переходя от относительного движения судов к абсолютному, будем иметь множество значений вектора скорости первого судна  $\mathbf{v}^{(1)}$ , соответствующих «опасным» значениям вектора  $\mathbf{v}$  (заштрихованная область на рис. 2).



**Рис. 2. Принцип построения диаграммы типа «скорость – курс»**

Сектор, соответствующий потенциально опасным значениям скорости и курса первого судна, получается путём параллельного переноса сектора «опасных» значений вектора  $\mathbf{v}$  на вектор  $\mathbf{v}^{(2)}$ . С помощью окружности радиуса  $v_{\max}^{(1)}$  показаны

максимально возможные значения скорости первого судна. Представление информации об опасных и безопасных параметрах движения управляемого судна в виде диаграммы «скорость-курс» позволяет обеспечить поддержку принятия решений судоводителем. Например, в данном случае для предотвращения опасного сближения следует либо уменьшить скорость первого судна, либо изменить его курс таким образом, чтобы вектор  $\mathbf{v}^{(1)}$  вышел из заштрихованной зоны. Степень и характер заполнения диаграммы «скорость-курс» даёт представление о сложности принятия решений судоводителем в складывающейся навигационной обстановке. Таким образом, метрикой эмоциональной нагрузки на судоводителей можно считать, например, долю опасных значений скоростей и курсов движения судна.

Перспективным путём к оценке метрики является использование данных Автоматической идентификационной системы (АИС) [13], доступных в открытых интернет-ресурсах типа [14]. Разбивая акваторию на участки и вычисляя метрику для проходящих по ним судов, можно оценить характерные (например, средние) значения метрики для каждого участка акватории.

### Результаты

Исследования проводились на основе ретроспективных данных о движении судов, полученных с ресурса [14] с помощью специально созданной программной системы [15]; была оценена опасность трафика нескольких акваторий с разной интенсивностью движения.



**Рис. 3. Средние значения доли опасных значений скоростей и курсов судов (Токийский залив)**

На рис. 3 показаны средние значения доли опасных значений скоростей и курсов судов, движущихся в Токийском заливе. Акватория разбита на квадратные участки со стороной 500м, радиус зоны навигационной безопасности  $R_n$  задавался равными длине корпуса судна. Светло-серым отмечены участки с долей опасных скоростей и курсов от

20% до 50%, серым – от 50% до 80%, темно-серым – от 80% до 90%, черным – более 90%. Можно считать, что на светло-серых участках судоводителю легко принимать решение, на серых от него требуется повышенное внимание, темно-серые и черные участки характеризуются сложной навигационной обстановкой и высокой эмоциональной нагрузкой на судоводителей. Токийский залив – высоконагруженная акватория. Видно, что начиная от устья залива и практически на протяжении всех фарватеров и зон, прилегающих к портам Йокосуки, Иокогамы, Тибы доля опасных скоростей и курсов превышает 80%. Для судоводителей это говорит о том, что нужно планировать работу с учётом повышенной нагрузки и быстрой усталости, например, ставить на мостик наиболее опытных членов экипажа с дублёрами, прибегать к услугам лоцмана. Для регулирующих служб это может служить сигналом о необходимости изменения правил движения, оптимизации судопотока в этой части акватории.

Оценка опасности трафика морской акватории может быть проведена с использованием различных подходов. Например, традиционно оценивается интенсивность движения – число судов, проходящих в единицу времени через тот или иной участок акватории. Такая оценка реализована, например, на ресурсе [14], в работе [16]. Вместе с тем интенсивность сама по себе свидетельствует об опасности движения лишь косвенно: трафик может быть плотным, но безопасным или разреженным, но опасным [17, 18].

Подход, представленный в настоящей работе, позволяет оценить сложность принятия решения судоводителями – работающими как «на борту» (капитан судна), так и «на берегу» (оператор береговой СУДС). Он выявляет потенциальную, скрытую и «нереализованную» опасность трафика, которая может выливаться в реальные опасные ситуации при неблагоприятном стечении обстоятельств (ухудшении видимости, сбоях в работе навигационного оборудования, неправильных командах диспетчера и т.п.). Предложенная метрика представляет собой попытку формализовать психологическую, эмоциональную нагрузку на участников движения.

Исходные траекторные данные характеризуются большим объёмом; например, при построении рис. 3 был обработан массив из более чем 1 млн. записей с данными о координатах, скоростях и курсах судов. Их формирование, хранение и обработка требуют разработки специальных программных систем и алгоритмов на основе технологий суперкомпьютеров и больших данных.

### **Заключение**

1. Оценка степени опасности морского трафика возможна на основе различных метрик. В настоящей работе предложена метрика, оценивающая сложность принятия решений и формализующая эмоциональную нагрузку на судоводителей на том или ином участке акватории.

2. При проведении исследований коллективного движения хорошо зарекомендовал себя подход, связанный с использованием данных, предоставляемых Автоматической идентификационной системой. Первичные данные АИС имеют ограниченную доступность для научных коллективов, поэтому возможно использовать информацию со специализированных интернет-ресурсов. Несмотря на невысокую частоту её обновления и сравнительно низкую точность она вполне адекватно отражает особенности трафика морских акваторий.

3. Проведённые исследования на основе реальных данных о движении судов подтвердили перспективность применения предложенного подхода. На его основе можно построить устойчивую картину участков морских акваторий, характеризующихся высокой эмоциональной нагрузкой на судоводителей. Это представляет большую ценность для служб, реализующих мероприятия по обеспечению безопасности движения; открывает перспективу оценки степени

опасности схемы движения, реализуемой на акватории, и выработки рекомендаций по её изменению в сторону менее опасных конфигураций.

### Литература

1. Гагарский Э.А., Козлов С.Г., Кириченко С.А. Безопасность судоходства при проектировании морского порта // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. № 1. С. 14-18.
2. Некрасов С.Н. Метод количественной оценки навигационной безопасности плавания // Навигация и гидрография. 2017. № 48. С. 7-17.
3. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 (МППСС- 72). М.: РКонсульт, 2004. 80 с.
4. Лентарёв А.А., Максимов М.О. Применение судовой навигационной аппаратуры для определения статистических характеристик судопотоков // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 156-158.
5. Студеникин Д.Е. Применение систем принятия решений для выбора параметров маневра судна / Д.Е. Студеникин, А.А. Григорян, Н.А. Маковецкая // Эксплуатация морского транспорта. 2015. № 4. С. 58-62.
6. Tam Ch.K., Bucknall R., Greig A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters // Journal of Navigation. 2009. Vol. 62. Is.3. Pp. 455-476.
7. Пламмер К. Дж. Маневрирование судов в узкостях. Л.: Судостроение, 1986. 80 с.
8. Таратынов В.В. Целесообразность разделения морских путей // Морской флот. 1969. № 9. С. 19-20.
9. Гриняк В.М. Визуальное представление параметров траектории безопасного движения судна / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный, М.В. Трофимов // Морские интеллектуальные технологии. 2016. № 1-3. С. 269-273.
10. Degre T. A collision avoidance system / T. Degre, X. Lefevre // Journal of Navigation. 1981. Vol. 34. Is. 02. Pp. 294-302.
11. Szlapczynski R., Szlapczynska J. A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions // Journal of Navigation. 2015. Vol. 68. Is. 06. Pp. 1041-1055.
12. Васьков А.С., Гаращенко М.А. Способы представления зоны навигационной безопасности судна // Эксплуатация морского транспорта. 2017. № 3. С. 38-44.
13. Ростопшин Д.Я., Антонова Д.А. О проблемах использования данных автоматической идентификационной системы в задачах управления движением судов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 9. С. 63-69.
14. MarineTraffic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marinetraffic.com> (дата обращения: 01.06.19).
15. Головченко Б.С., Гриняк В.М. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. 2014. № 2 (24). С.156-162.
16. Zhao L. Ship Trajectories Pre-processing Based on AIS Data / L. Zhao, G. Shi, J. Yang // Journal of Navigation. 2018. Vol. 71. Is. 05. Pp. 1210-1230.
17. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Люлько В.И. Оценка опасности трафика морской акватории по данным Автоматической идентификационной системы // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2017. № 4. С. 681-690.
18. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Иваненко Ю.С. Оценка опасности движения на акватории по данным Автоматической идентификационной системы // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 10. С. 41-46.