ВЕСТНИК
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-163-174 **EDN AYBTLM**

PROBLEMS OF USING AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM MESSAGES IN THE TASK OF FORECASTING VESSEL MOVEMENT TRAJECTORIES

S. V. Smolentsev, D. V. Isakov, M. B. Solodovnichenko

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The article addresses the problem of forecasting vessel movement trajectories, which is integral to safe divergence systems for predicting and assessing navigation situations. For accurate navigation situation assessment, safe divergence systems must generate precise forecasts of target vessel trajectories. It is established that addressed and broadcast messages of the Automatic Identification System (AIS) with IDs 1, 2, 3, and 5 (dynamic and static information), as well as messages with IDs 6 and 8 (route information), can be utilized for this purpose. The format of route information messages, as per IMO Circular SN.1/Circ.289, is presented. The use of route information in forecasting target vessel trajectories enhances prediction accuracy and improves naviga-tion situation assessment. However, certain challenges in using route information are identified, along with examples of incorrect operation in trajectory prediction systems. It is demonstrated that the route information currently transmitted in AIS messages is insufficient for accurate trajectory prediction. This limitation arises because the existing route information transmission system was not originally designed for trajectory prediction tasks. Consequently, the limited applicability of current AIS messages is highlighted, and the necessity of developing a dedicated route information transmission system via AIS channels to address trajectory prediction tasks is substantiated. Proposals for the content of AIS messages in such a system are formulated.

Keywords: vessel trajectory prediction, vessel route, Automatic Identification System, navigation situation assessment.

For citation:
Smolentsev, Sergey V., D. V. Isakov and M. B. Solodovnichenko "Problems of using automatic identification system messages in the task of forecasting vessel movement trajectories." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.2 (2025): 163–174. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-163-174.

УДК 656.61.052

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ

С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков, М. Б. Солодовниченко

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассмотрена задача прогнозирования траекторий движения судов, решения которой используются в системах безопасного расхождения судов для прогноза и оценки навигационной ситуации. Отмечается, что для корректной оценки навигационной ситуации система безопасного расхождения должна строить корректные прогнозы траекторий движения судов-целей. Определено, что в задаче прогнозирования траекторий движения судов-целей могут быть использованы адресуемые и широковещательные сообщения автоматической идентификационной системы (АИС) с ID = 1, 2, 3 и ID = 5 (динамическая и статическая информация), а также сообщения с ID = 6,8 (маршрутная информация). Приведен формат сообщений с маршрутной информацией согласно циркуляру ИМО SN.1/Circ.289. Отмечено, что использование маршрутной

информации в задаче прогноза траектории движения судна-цели позволяет более точно строить такие прогнозы и, соответственно, лучше оценивать навигационную ситуацию. Определены некоторые проблемы использования маршрутной информации и показаны примеры некорректной работы системы прогноза траектории движения цели. Показано, что маршрутная информация, передаваемая в существующих сообщениях АИС, является недостаточной для построения корректного прогноза траектории движения цели. Источником указанных проблем является тот факт, что существующие сообщения с маршрутной информацией изначально не предназначались для использования в задаче прогноза траекторий судов-целей. В результате рассмотренных проблем с использованием маршрутной информации показана ограниченная применимость существующих сообщений АИС и обоснована необходимость разработки системы передачи маршрутной информации по каналам АИС, ориентированной на решение с ее помощью задачи прогноза траекторий судов-целей. Сформулированы предложения по содержанию сообщений АИС в такой системе.

Ключевые слова: прогноз траектории судна, маршрут судна, Автоматическая идентификационная система, оценка навигационной ситуации.

Для цитирования:
Смоленцев С. В. Проблемы использования сообщений автоматической идентификационной системы в задаче прогнозирования траекторий движения судов / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков, М. Б. Солодовниченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 2. — С. 163–174. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-163-174. — EDN AYBTLM.

Введение (Introduction)

В настоящее время наблюдается значительный рост интереса к созданию морских автономных надводных судов (МАНС). Во многих странах проводятся теоретические и экспериментальные исследования в данной области. Ключевым аспектом в области безэкипажного судоходства, как и традиционного, является обеспечение безопасности судовождения.

В соответствии с «Правилами управления автономными судами», утвержденными Приказом Минтранса России № 140 от 22.04.2024 г. каждое МАНС должно управляться системой автономного судовождения. Одной из задач, решаемых этой системой, является обеспечение безопасного расхождения с судами. Маневры МАНС для расхождения с другими судами должны соответствовать требованиям Международных правил предупреждения столкновения судов (МППСС-72). Решению этой проблемы посвящено множество работ. В частности, проблема безопасного расхождения судов на основе МППСС-72 рассматривалась в работах [1]–[4].

Составной частью системы автономного судовождения является система безопасного расхождения судов (СБРС). Разработке подобных систем в настоящее время уделяется большое внимание. СБРС должна решать следующие задачи:

– оценка навигационной ситуации;

– принятие решения по маневрированию для предотвращения опасного сближения в случае, если ситуация оценивается как *опасная*.

Для решения задачи оценки навигационной ситуации необходимо иметь возможность прогнозировать ее на заданный промежуток времени и, соответственно, уметь строить прогнозы траекторий движения судов-целей.

Траектория движения каждого конкретного судна может быть построена с использованием математических моделей динамики судна, например, предложенных в работах [5], [6], а также следующих данных:

– параметров модели динамики данного судна;

– информации о гидрометео и навигационных условиях;

– маршрута данного судна.

Параметры модели динамики каждого конкретного судна зависят от его типа и размерений, которые могут быть получены из базы данных моделей судов на основе информации, передаваемой непосредственно судами через автоматическую идентификационную систему (АИС). Кроме того, параметры модели для реального судна зависят от его текущего состояния: загрузки, степени обрастания корпуса, крена, дифферента и т. п. Информация о навигационных условиях, оказываю-

щих влияние на движение судна (в частности, глубин), может быть получена от ЭКДИС, информация о гидрометеоусловиях в акватории — от сети метеостанций, которые обычно располагаются на объектах береговых или плавучих СНО.

Одной из проблем при построении прогноза траектории движения судна-цели является получение маршрута этой цели. В работах [7]–[10] для построения маршрутов судов в акватории предлагается использовать ретроспективные данные о движении судов от системы АИС. Такой подход возможен в системах СУДС, которые могут на основе накопленных за длительный промежуток времени исторических данных АИС строить модель трафика в зоне своей ответственности. Однако такое решение не подходит для МАНС, которые могут находиться в различных акваториях, где необходимо учитывать текущую навигационную обстановку и суда, находящиеся в данный момент времени в районе плавания. В работе авторов [11] предложена методика оценки маршрутов судов на основе характеристик акватории и имеющихся предположений о движении судов в ней.

Целью данной статьи является исследование вопросов использования данных о маршрутах судов-целей, предоставляемых АИС для прогнозирования траекторий их движения. В частности, необходимо:

– рассмотреть сообщения системы АИС, которые могут быть использованы в задаче прогноза траектории движения судов-целей;

– определить проблемы использования маршрутной информации в существующих сообщениях АИС;

– сформулировать предложения по составу передаваемой маршрутной информации в сообщениях АИС.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Одной из систем обеспечения безопасности судовождения в море является АИС. Каждое судно, оснащенное транспондером АИС, передает статическую информацию о себе и динамическую информацию о своем движении. Для этого используются сообщения ID = 5 и ID = 1, 2, 3 (судовая аппаратура класса А)[1].

В сообщениях ID = 5 передаются статические и рейсовые данные о судне:

– название, тип, позывной, MMSI и номер ИМО;

– размерения (точнее, расположение антенны ГНСС относительно носа, кормы и бортов судна);

– осадка;

– пункт назначения и ETA.

Сообщение данного типа передается каждые 6 мин или при изменении данных, или по запросу. В сообщениях ID = 1, 2, 3 передается отчет о местонахождении судна, включающий:

– навигационный статус;

– координаты;

– параметры движения: COG, SOG, HDG, ROT;

– индикатор маневра.

Сообщения ID = 1, 2 передаются с дискретностью 3 мин судном на якоре или у причала и с дискретностью 2–10 с движущимся судном в зависимости от его скорости и маневрирования. Сообщения ID = 3 передаются по запросу. Эта информация, особенно данные о координатах и параметрах движения судов-целей, является очень важной для оценки текущей навигационной ситуации. Однако ее недостаточно для корректного прогноза ее развития и, в частности, для построения прогнозов траекторий судов-целей.

В соответствии с Циркуляром ИМО SN.1/Circ.289[2] в перечень сообщений АИС добавлены сообщения, с помощью которых можно передавать маршрутную информацию. Для этого используются Application-Specific Messages: сообщения с ID = 6 (адресуемые) и ID = 8 (широковещательные).

[1] Рекомендация МСЭ-R M.1371–5 (02/2014).

[2] Guidance on the use of AIS application-specific messages / Циркуляр ИМО: SN.1/Circ.289.

Для сообщений с ID = 6 используются DAC = 001, FI = 28, для сообщений с ID = 8 — DAC = 001, FI = 27. Формат сообщений представлен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Формат сообщений о маршруте ID = 6,8

Parameter	No. of bits	Description
Message ID	6	Identifier for Message 6: always 6. Identifier for Message 8: always 8.
Repeat Indicator	2	Used by the repeater to indicate how many times a message has been repeated. 0–3 0 = default 3 = do not repeat anymore
Source ID	30	MMSI number of source station.
Sequence Number	2	Only for Message 6 0–3
Destination ID	30	Only for Message 6 MMSI number of destination station
Retransmit Flag	1	Only for Message 6 Retransmit Flag should be set upon retransmission. 0 = no retransmission = default 1 = retransmitted
Spare	2	Not used. Set to zero
IAI	16	for Message 6: DAC = 001; FI = 28. for Message 8: DAC = 001; FI = 27.
Message Linkage ID	10	A source specific running number, unique across all binary messages equipped with Message Linkage ID. Used to link additional information to the message by a Text Description message. The Message Linkage ID and the first six digits of the source MMSI uniquely identify the sent message. 1–1,023 0 = not available = default
Sender Classification	3	0 = ship = default 1 = authority 2–7 (reserved for future use)
Route Type	5	0 = not available = default 1 = mandatory route 2 = recommended route 3 = alternative route 4 = recommended route through ice 5 = ship route plan 6–30 (reserved for future use) 31 = cancellation (cancel route as identified by Message Linkage ID)
Start Date and Time		Start UTC date and time
UTC Month	4	1–12 0 = not available = default
UTC Day	5	1–31 0 = not available = default
UTC Hour	5	0–23 24 = not available = default
UTC Minute	6	0–59 60 = not available = default
Duration	18	Minutes until end of validity of the route. Measured from start time of Route Information. 0 = cancel route 262,143 = not available = default
Number of Waypoints	5	Number of Waypoints 1–16 0 = no waypoint = default 17–31 (not used)
Waypoints	nx55	Variable number of waypoints 1–16 (55 bit each). The number of waypoints is determined by the length of the message.
Spare	0	Not used. Set to zero

Таблица 2

Формат записи о маршрутной точке

Parameter	No. of bits	Description
WP i. Longitude	28	Longitude in 1/10,000 min, ±180 degrees as per 2's complement (East = positive, West = negative). 181 = not available = default.
WP i. Latitude	27	Latitude in 1/10,000 min, ±90 degrees as per 2's complement (North = positive, South = negative). 91 degrees = not available = default

Каждое сообщение о маршруте имеет свой уникальный идентификатор, назначаемый передающей станцией (Message Linkage ID), что вместе с первыми шестью знаками MMSI этой станции однозначно идентифицирует маршрутную информацию. Все сообщения с ID = 6, 8 об изменениях данного маршрута, его отмене или связанные с этим маршрутом текстовые сообщения (ID = 12, 14) должны содержать указанный идентификатор.

Сообщения с ID = 6, 8 могут передаваться как с судна, так и с береговой станции. Каждое из них может содержать до 16 маршрутных точек и указывает время начала действия маршрута и время, в течение которого маршрут действителен. Для отмены маршрута до истечения его действия передающая станция может отправить сообщение с тем же Message Linkage ID, Route Type = 31, Duration = 0 и недействительным временем начала действия маршрута Start Date and Time = (0–0–24–60).

Предполагается, что программное обеспечение ЭКДИС при получении от транспондера АИС сообщений с маршрутной информацией будет отображать полученный маршрут до момента истечения срока его действия или получения сообщения о его отмене. Очевидно, что указанная маршрутная информация может быть использована в системе безопасного расхождения при решении задачи построения прогноза траектории движения судна-цели. Для этого судно-цель должно широковещательно передавать сообщение о своем маршруте (ID = 8, DAC = 001, FI = 27, Route Type = 5).

Результаты (Results)

Рассмотренные в предыдущем разделе работы сообщения с маршрутной информацией предназначены, прежде всего, для информирования судов в определенной акватории об обязательных, рекомендованных или альтернативных маршрутах. Эта информация может передаваться береговой станцией АИС под управлением СУДС или администрацией порта с целью обеспечения безопасности судоходства. Судно также может передавать с помощью этих сообщений информацию о своем маршруте, информируя СУДС и окружающие суда. Однако при использовании этих сообщений в задаче прогноза траектории движения судна-цели может возникнуть ряд проблем, которые будут рассмотрены в данном разделе работы.

Первая проблема состоит в недостаточном объеме передаваемой информации. Согласно данным табл. 2, маршрут передается как множество координат маршрутных точек без привязки ко времени и указания планируемой скорости на каждом из участков маршрута (рис. 1).

Предположим, что судно-цель движется строго по заданному маршруту, который передается в виде множества маршрутных точек: $M = \{m_i\}_{i = 1...16}$. На самом же судне маршрут задается другим множеством маршрутных точек $M^* = \{m^*_i\}_{i = 1...N}$, где $m^*_i(\varphi_i, \lambda_i, T_i)$ — совокупность координат маршрутной точки и планового времени прихода в эту точку. При этом значение времени в сообщениях АИС с маршрутной информацией не передается, что может приводить к ошибкам прогнозирования положения судна-цели.

Введем следующие обозначения:

T_c — текущее время;

T_i — плановое время прихода в маршрутную точку m_i;

T_p — время прогноза: $T_p = T_c + t_p$;
t_p — период прогноза;
$s_c(T_c)$ — текущее положение цели;
$s_c(T_p)$— прогнозируемое положение цели на время прогноза T_p;
d_{i-1} — расстояние от текущего положения цели до следующей маршрутной точки (m_i);
d_i — расстояние от маршрутной точки (m_i) до прогнозируемого положения цели на время прогноза T_p.

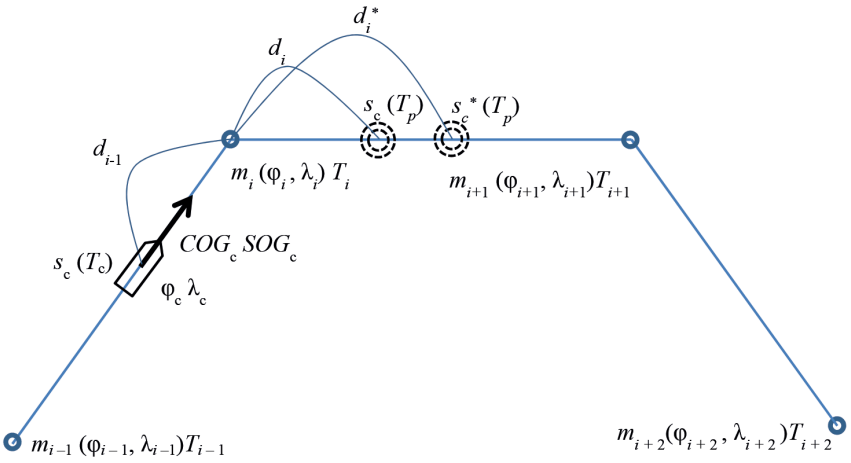

Рис. 1. Ситуация передачи маршрута
в виде множества координат маршрутных точек

Система прогноза траектории движения цели имеет следующую информацию о нем, полученную по каналу АИС:

– текущие координаты цели: φ_c, λ_c;
– параметры движения цели: COG_c, SOG_c, HDG_c, ROT_c;
– маршрут $M = \{m_i\}_{0 \le i \le 16}$.

Предположим, что маневрирование цели в поворотных точках не учитывается. Прогнозируемое положение цели на время прогноза $s_c(T_p)$ будет определяться системой на отрезке $[m_i, m_{i+1}]$ через расстояние d_i, которое может быть рассчитано по формуле

$$d_i = V_c t_p - d_{i-1}.$$

При этом расстояние d_{i-1} определяется с использованием известной информации: текущим координатам цели и координатам следующей маршрутной точки:

$$d_{i-1} = d(s_c, m_i).$$

В качестве скорости может использоваться текущая скорость цели:

$$V_c = SOG_c.$$

Это справедливо, если скорость цели на маршруте не изменяется, и текущая скорость цели соответствует плановой. Однако это предположение в реальности может не выполняться.

Рассчитаем расстояние d_i^* с учетом планового времени прихода в каждую маршрутную точку:

$$d_i^* = V_i t_i;$$

$$V_i = \frac{d(m_{i+1}, m_i)}{T_{i+1} - T_i};$$

$$t_i = t_p - t_{i-1};$$

$$t_{i-1} = \frac{d(s_c, m_i)}{SOG_c}.$$

В случае если на участках маршрута задана скорость, отличная от текущей скорости цели, то расстояния d_i и d_i^* будут различны, как и координаты прогноза места цели (см. рис. 1).

Вторая проблема заключается в необходимости учитывать тот факт, что в реальных условиях судно-цель может не находиться на линии заданного маршрута. При отклонении от линии заданного маршрута целью может быть реализована одна из двух стратегий: движение в маршрутную точку или движение параллельно линии заданного маршрута до пересечения со следующим коленом маршрута, как показано на рис. 2. Причем, какая из стратегий используется, по АИС не передается, ее необходимо определить по наблюдениям за движением цели.

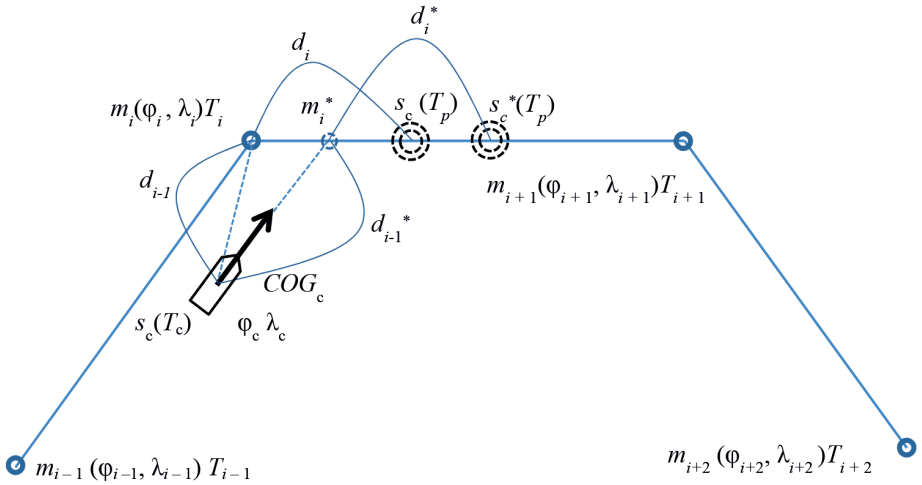

Рис. 2. Учет разных стратегий движения цели при ее отклонении от линии заданного маршрута

Для определения стратегии, реализуемой в данный момент целью, используются следующие данные:

– текущие координаты цели: φ_c, λ_c;
– координаты следующей маршрутной точки: φ_i, λ_i;
– координаты предыдущей маршрутной точки: φ_{i-1}, λ_{i-1};
– направление движения цели относительно грунта: COG_c.

По приведенным данным можно рассчитать $P(m_{i-1}, m_i)$ — направление из точки m_{i-1} в точку m_i. Сравнивая текущее направление движения цели COG_c с этими направлениями можно определить, движется ли цель в поворотную точку m_i или параллельно до пересечения с линией следующего отрезка маршрута в точку m_i^*. Если не рассматривать возможное изменение скорости и считать, что скорость на всех участках маршрута одинакова:

$$V_{i-1} = V_i = SOG_c,$$

то справедливо равенство:

$$d_{i\,\text{СБРС}-1} + d_i = d_{i-1}^* + d_i^*,$$

откуда получим

$$d_i = d_i^* + (d_{i-1}^* - d_{i-1}).$$

Из свойств треугольника $s_c(T_c)$, m_i, m_i^* следует, что расстояние между точками m_i и m_i^* больше, чем разница расстояний от текущего места цели до точек m_i и m_i^*:

$$d(m_i, m_i^*) > (d_{i-1}^* - d_{i-1}).$$

Таким образом, места положения цели на время прогноза при учете разных стратегий движения цели $s_c(T_p)$ и $s_c^*(T_p)$ различны, как показано на рис. 2, и в случае неверного определения или неучета реальной стратегии движения цели возможны ошибки в прогнозе ее местоположения.

Третья проблема заключается в том, передает ли судно-цель посредством АИС новый маршрут при маневрировании для расхождения с другими судами. В случае если, согласно МППСС-72, встречное судно-цель должно уступить дорогу, оно для этого осуществляет маневр по расхождению. Важно, чтобы система безопасного расхождения на судне, которому уступают дорогу, имела информацию о намерениях другого судна. В этом случае передача посредством АИС, измененного в соответствии с маневром по расхождению маршрута, может решить задачу информированности окружающих судов о предстоящих маневрах. Однако для этого необходимо, чтобы на судне-цели выполнялись следующие условия:

– СБРС принимала решения по расхождению в форме измененного маршрута;
– измененный маршрут должен передаваться посредством системы АИС окружающим судам.

Получив сообщения об измененном маршруте, СБРС других судов смогут построить прогноз движения судна-цели более корректно. Однако и в этом случае возможны ошибки прогнозирования. Причиной этого является ограниченность информации, передаваемой в существующих сообщениях ID = 6, 8.

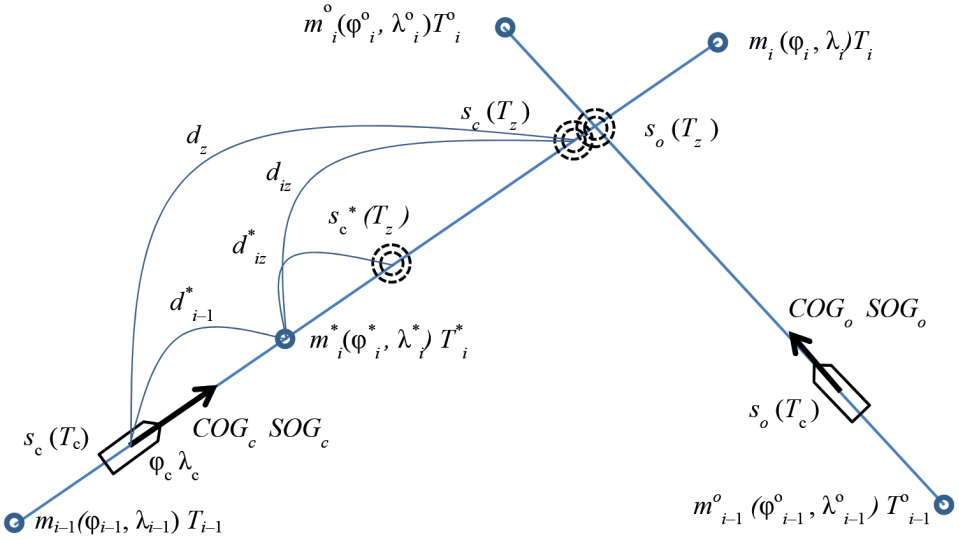

Рис. 3. Ситуация встречи двух судов на пересекающихся курсах

В качестве примера рассмотрим ситуацию встречи двух судов на пересекающихся курсах (рис. 3). Введем следующие обозначения:

T_c — текущее время;
T_z — время кратчайшего сближения судов;
$s_c(T_c)$, $s_o(T_c)$ — текущие положения цели и собственного судна;
$s_c(T_z)$, $s_o(T_z)$ — положения цели и собственного судна в момент опасного сближения;
$m_i(\varphi_i, \lambda_i)T_i$ — маршрутная точка цели (координаты и время прихода в точку);
$m_i(\varphi_i, \lambda_i)\,T_i$ — маршрутная точка собственного судна (координаты и время прихода в точку);
d_{i-1} — расстояние от текущего положения цели до следующей маршрутной точки (m_i);
d_{iz} — расстояние от маршрутной точки (m_i) до прогнозируемого положения цели на время кратчайшего сближения T_z.

Система прогноза траектории движения цели на собственном судне имеет следующую информацию о цели, полученной по каналу АИС:

– текущие координаты цели: φ_c, λ_c;
– параметры движения цели: COG_c, SOG_c, HDG_c, ROT_c;
– маршрут $M = \{m_i\}_{0 \le i \le 16}$.

Предположим, что на собственном судне и судне-цели в момент T_c определяется ситуация опасного сближения с целью в момент $T_z = T_c + TCPA$. Системы прогнозирования на обоих судах

определяют положение судов в момент опасного сближения как $s_c(T_z)$ и $s_o(T_z)$. В соответствии с МППСС-72 цель должна уступить дорогу, и ее система расхождения принимает решение о выполнении маневра скоростью: в момент T^*_i в точке m^*_i изменить скорость на SOG^*_c, а в точке m_i вернуться к прежней скорости SOG_c.

Измененный маршрут, включающий точку m^*_i, передается с помощью сообщения ID = 8 окружающим судам. Однако, как следует из данных табл. 2, в маршрутном сообщении АИС передаются только координаты маршрутных точек, без указания планируемого времени прихода в точку или скорости на участках маршрута. Это приведет тому, что цель будет рассчитывать прогноз своего положения в точке $s^*_c(T_z)$, считая, что от маршрутной точки m^*_i до точки $s^*_c(T_z)$ она движется с новой скоростью SOG^*_c и пройдет расстояние:

$$d^*_{iz} = SOG^*_c\left(T_z - T^*_i\right);$$

$$T^*_i = \frac{d\left(m^*_i, s_c\right)}{SOG_c}.$$

Таким образом, СБРС цели будет считать, что ситуация опасного сближения разрешена. Остальные суда, приняв сообщение о новом маршруте, будут рассчитывать прогноз положения цели в точке $s_c(T_z)$, считая, что от маршрутной точки m^*_i до точки $s_c(T_z)$ она движется с прежней скоростью SOG_c и пройдет расстояние:

$$d_{iz} = SOG_c\,(T_z - T^*_i);$$

$$T^*_i = \frac{d\left(m^*_i, s_c\right)}{SOG_c}.$$

Соответственно окружающие суда не смогут учесть планируемое изменение скорости целью в маршрутной точке m^*_i и будут считать, что ситуация по-прежнему остается опасной. Возможно, при этом судно, которому должны уступать дорогу, ошибочно считая, что другое судно игнорирует правила расхождения, будет предпринимать действия в соответствии с Правилом 17 МППСС-72, что в данном случае может только усугубить ситуацию.

Обсуждение (Discussion)

Использование маршрутов, передаваемых судами, возможно в задаче прогнозирования движения судов-целей в системах безопасного расхождения. Это, безусловно, лучше, чем отсутствие какой-либо информации о планируемом движении судна. Однако при использовании такой информации в задаче прогноза траектории движения цели могут возникнуть проблемы, рассмотренные в предыдущем разделе работы. Их причиной является то, что существующие сообщения АИС с ID = 6, 8 предназначены в первую очередь для передачи статических маршрутов без привязки ко времени прихода в маршрутные точки и скоростям на участках маршрута.

Для корректного использования маршрутной информации в задаче прогнозирования траектории движения судна-цели необходимо ввести новые сообщения в системе АИС (например, с ID = 6, 8 DAC = 001), но с другим FI. Наилучшим решением может быть периодическая передача сообщений о точках траектории судна, предварительно вычисляемая на самом судне с использованием известной модели и планируемых маневров (например, передача множества точек прогнозируемой траектории на заданное время прогноза с определенной дискретностью). Возможно, эти параметры должны зависеть от скорости судна и кривизны планируемой траектории. Таким образом, можно обеспечить окружающие суда информацией о планируемой траектории не только в виде ломаной линии, но и криволинейной траектории. Однако передача этой информации всеми судами может значительно загрузить каналы АИС, что неприемлемо. Для уменьшения нагрузки на каналы возможна передача маршрутной информации в виде множества координат маршрутных точек и заданных скоростей движения судна на участках между ними. Эта информация позволит

более корректно прогнозировать траекторию движения судна-цели, но, разумеется, только в виде ломаной линии, а не криволинейной.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены вопросы использования в системах безопасного расхождения судов маршрутной информации, передаваемой в адресуемых и широковещательных сообщениях АИС.

2. Определено, что в задаче прогнозирования траекторий движения судов-целей могут быть использованы сообщения АИС с ID = 1, 2, 3 и ID = 5 (динамическая и статическая информация), а также сообщения с ID = 6, 8 (маршрутная информация).

3. Отмечено, что использование маршрутной информации в задаче прогноза траектории движения судна-цели позволяет более точно строить такие прогнозы и, соответственно, лучше оценивать навигационную ситуацию. Указаны некоторые проблемы использования маршрутной информации и приведены примеры некорректной работы системы прогноза траектории движения судна-цели.

4. Сделан вывод о том, что источником указанных проблем является тот факт, что существующая система передачи маршрутной информации изначально не предусматривала использование этой информации в задаче прогноза траекторий.

5. В результате рассмотренных проблем с использованием маршрутной информации показана ограниченная применимость существующих сообщений АИС и обоснована необходимость разработки системы передачи маршрутной информации по каналам АИС, ориентированной на решение с ее помощью задачи прогноза траекторий судов-целей. Сформулированы предложения по содержанию сообщений АИС в такой системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Johansen T. A.* Ship Collision Avoidance and COLREGS Compliance Using Simulation-Based Control Behavior Selection With Predictive Hazard Assessment / T. A. Johansen, T. Perez, A. Cristofaro // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2016. — Vol. 17. — Is. 12. — Pp. 3407–3422. DOI: 10.1109/TITS.2016.2551780.

2. *Woerner K. L.* Collision avoidance road test for COLREGS-constrained autonomous vehicles / K. L. Woerner, M. R. Benjamin, M. Novitzky, J. J. Leonard // OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey 2016. — С. 1–6. DOI: 10.1109/OCEANS.2016.7761413.

3. *Смоленцев С. В.* Формализация задачи расхождения судов в море на основе теории мультиагентной системы / С. В. Смоленцев // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 2(64). — С. 19–24. — EDN NYBZLP.

4. *Каретников В. В.* К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории / В. В. Каретников, С. В. Козик, А. А. Буцанец // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002. — EDN ACCRDQ.

5. *Смоленцев С. В.* Моделирование движения судна на основе упрощенной кинематической модели / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1111–1121. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1111-1121. — EDN YYEITB.

6. *Смоленцев С. В.* Простая аналитическая модель движения судна / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21. — EDN NSMBPQ.

7. *Гриняк В. М.* Планирование маршрутов судов на основе кластеризации ретроспективных данных трафика акватории / В. М. Гриняк // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 61–78. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2021-2/061-078. — EDN UVXZYX.

8. *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 им. адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690. — EDN ZEUQDL.

9. *Naus K.* Drafting Route Plan Templates for Ships on the Basis of AIS Historical Data / K. Naus // Journal of Navigation. — 2020. — Vol. 73. — Is. 3. — Pp. 726–745. DOI: 10.1017/S0373463319000948.

10. *Wang L.* Use of AIS data for performance evaluation of ship traffic with speed control L. Wang, Y. Li, Z. Wan, Z. Yang, T. Wang, K. Guan, L. Fu // Ocean Engineering. — 2020. — Vol. 204. — Pp. 107259. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2020.107259.

11. *Смоленцев С. В.* Проблема прогнозирования траекторий движения судов в акватории / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков, М. Б. Солодовниченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-7-16. — EDN HUUGUA.

REFERENCES

1. Johansen, T. A., T. Perez and A. Cristofaro. “Ship Collision Avoidance and COLREGS Compliance Using Simulation-Based Control Behavior Selection With Predictive Hazard Assessment.” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 17.12 (2016): 3407–3422. DOI: 10.1109/TITS.2016.2551780.

2. Woerner, K. L., M. R. Benjamin, M. Novitzky and J. J. Leonard. “Collision avoidance road test for COLREGS-constrained autonomous vehicles.” *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*2016: 1–6. DOI: 10.1109/OCEANS.2016.7761413.

3. Smolentsev, S. V. “Formalization of the ships’ collision avoidance at sea on the basis of mas theory.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(64) (2011): 19–24.

4. Karetnikov, V. V., S. V. Kozik and A. A. Butsanets. “Risks assessment of applying unmanned means of water transport in the water area.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 11.6 (2019): 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.

5. Smolentsev, S. V. and D. V. Isakov. “Simulation of ship movement based on a simplified kinematic model.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1111–1121. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1111-1121.

6. Smolentsev, S. V. and D. V. Isakov. “A simple analytical model of ship movement.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21.

7. Grinyak, V. M. “Vessel route planning based on traffic historical data clustering.” *tHe Territory Of New Opportunities. The Herald Of Vladivostok State University Of Economics And Service* 13.2 (2021): 61–78. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2021-2/061-078.

8. Grinyak, V. M., A. S. Devyatisil’nyy and V. I. Lyul’ko. “Use of automatic identification system data for estimation of marine traffic safety.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.

9. Naus, K. “Drafting Route Plan Templates for Ships on the Basis of AIS Historical Data.” *Journal of Navigation* 73.3 (2020): 726–745. DOI: 10.1017/S0373463319000948.

10. Wang, L., L. Fu, et al. “Use of AIS data for performance evaluation of ship traffic with speed control.” *Ocean Engineering* 204 (2020): 107259. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2020.107259.

11. Smolentsev, S. V., D. V. Isakov and M. B. Solodovnichenko. “The problem of forecasting vessels trajectories in the water area.” Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova 14.1 (2022): 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-7-16.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смоленцев Сергей Викторович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: *sswasily@mail.ru*, *SmolencevSV@gumrf.ru*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Smolentsev, Sergey V. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035, Russian Federation
e-mail: *sswasily@mail.ru*, *SmolencevSV@gumrf.ru*

Исаков Дмитрий Владимирович —
доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: *kaf_avt@gumrf.ru*
Солодовниченко Михаил Борисович —
кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: *solodovnichenkomb@gumrf.ru*

Isakov Dmitry V. —
assistant professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: *kaf_avt@gumrf.ru*
Solodovnichenko Mikhail V. —
professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: *solodovnichenkomb@gumrf.ru*

Статья поступила в редакцию 07 февраля 2025 г.
Received: Feb. 7, 2025.