

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-221-229

THE CONTEXT IMPORTANCE IN THE PROBLEM OF COOPERATIVE MANEUVERING OF UNMANNED SHIPS

S. V. Smolentsev¹, A. E. Sazonov¹, A. E. Pelevin²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, Russian Federation

The problem of collision avoidance of a group of ships offshore is investigated in the paper. To solve this problem it is necessary to ensure the cooperative maneuvering of several vessels from the group. The case of unmanned (autonomous) ships, when each vessel is operated automatically, is considered in the paper. The main attention is paid to the problem of equally understanding of the current navigation situation conditions by the various agents, jointly solving the problem of cooperative maneuvering in a given water area.

To solve the problem of cooperative maneuvering, all agents operating unmanned ships must equally interpret the current navigational situation. Factors defining the current navigation situation are divided into two groups: the main factors necessary to solve the problem of collision avoidance under ideal conditions and additional factors that must be additionally taken into account when solving the problem of collision avoidance in the real navigation environment. Failure to take into account the additional factors can lead to inadequate decisions on the vessel management.

The concept of context is introduced as a set of interpretations of the additional factors values. The importance of taking these factors into account when solving the problem of collision avoidance is shown. A list of factors, as well as an example of these factors interpretation for inclusion in the context, is given. Using the same context by all agents will allow them to equally interpret the current navigational situation in the navigation area and jointly solve the problem of cooperative maneuvering.

The main properties of the context, such as universality and compactness, are defined. In the protocol of agents interaction, it is necessary to provide the special means for exchange and matching of the contexts between the agents operating unmanned ships.

Keywords: context, unmanned ship, cooperative maneuvering, collision avoidance, COLREG-72.

For citation:

Smolentsev, Sergey V., Anatolii E. Sazonov, and Alexander E. Pelevin. "The context importance in the problem of cooperative maneuvering of unmanned ships." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 221–229. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-221-229.

УДК 656.61.052

ЗНАЧЕНИЕ КОНТЕКСТА В ЗАДАЧЕ КООПЕРАТИВНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ БЕЗЭКИПАЖНЫХ СУДОВ

С. В. Смоленцев¹, А. Е. Сазонов¹, А. Е. Пелевин²

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассматривается проблема безопасного расхождения группы судов в море, для решения которой необходимо обеспечить кооперативное маневрирование нескольких судов из этой группы. Рассматривается ситуация безэкипажных (автономных) судов, когда каждым судном управляет автоматический агент. Основное внимание уделяется проблеме однозначного понимания условий текущей навигационной обстановки.

новки различными агентами, совместно решающими задачу кооперативного маневрирования в заданной акватории. Показано, что для решения задачи кооперативного маневрирования все агенты, управляющие безэкипажными судами, должны одинаково интерпретировать текущую навигационную обстановку. Факторы, определяющие текущую навигационную обстановку, разделены на две группы: основные факторы, необходимые для решения задачи безопасного расхождения в идеальных условиях и дополнительные факторы, которые необходимо учитывать при решении задачи безопасного расхождения в реальной навигационной обстановке. Отказ от учета дополнительных факторов может привести к получению неадекватных решений по управлению судном при расхождении с другими судами.

Вводится понятие «контекста» как множества интерпретаций значений дополнительных факторов. Показана важность их учета при решении задачи безопасного расхождения. Приведен перечень факторов, а также пример их интерпретации для включения в контекст. Использование одинакового контекста всеми агентами позволит им однозначно интерпретировать текущую навигационную обстановку в районе плавания и совместно решать задачу кооперативного маневрирования. Определены основные свойства контекста, такие как универсальность и компактность. Указано, что в протоколе взаимодействия агентов необходимо предусмотреть специальные средства для обмена и согласования контекстов между агентами, управляющими безэкипажными судами.

Ключевые слова: контекст, безэкипажное судно, кооперативное маневрирование, предупреждение столкновений, МППСС-72.

Для цитирования:

Смоленцев С. В. Значение контекста в задаче кооперативного маневрирования безэкипажных судов / С. В. Смоленцев, А. Е. Сазонов, А. Е. Пелевин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 221–229. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-221-229.

Введение (Introduction)

Создание безэкипажного судна в настоящее время является перспективным направлением развития морского транспорта. Проблема эта многогранна, она охватывает многие аспекты автоматизации судовых систем и процессов. Следует заметить, что в данной работе под термином «безэкипажное судно» понимается полностью автономное судно, а не судно, дистанционно управляемое с берега. Одной из важных задач, которую необходимо решать с помощью системы управления такого судна, является задача безопасного расхождения с другими судами в море. Данная задача заключается в следующем: в случае, если суда движутся так, что существует опасность их сближения на дистанцию менее заданной, то одно или несколько судов должны предпринять маневры, исключающие это сближение.

Принципы безопасного расхождения судов в море определены Международными правилами предупреждения столкновения судов — МППСС-72¹ (далее — МППСС). Важно, чтобы решения по расхождению с другими судами, принимаемые автоматически безэкипажным судном, соответствовали МППСС, поскольку безэкипажное судно может расходиться как с другим безэкипажным судном, так и с судном под управлением экипажа. Маневры, предпринятые безэкипажным судном, должны не только приводить к безопасному расхождению, но и быть естественными для восприятия судоводителями встречных судов.

Основные принципы построения интеллектуальных систем управления изложены в работе [1]. Проблема безопасного расхождения судов на основе МППСС рассматривалась в работах [2], [3]. Вопросы формализации МППСС рассмотрены в статье [4]. Работы Вагущенко [5], [6] посвящены использованию интеллектуальных систем в навигации, в том числе и в задачах расхождения судов. Траекторный подход к решению задачи безопасного расхождения судов, учитывающий требования МППСС, предложен в работах [7]–[9].

Различные аспекты задачи оценки навигационной ситуации и принятия решений по безопасному расхождению рассмотрены в предыдущих работах авторов. В них изложены основные принципы и алгоритмы принятия решений, которые могут быть использованы для решения задачи безопасного расхождения в системе управления безэкипажным судном. Однако в море может

¹ Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 г. (МППСС-72). 5-е изд. М.: Моркнига, 2011. 142 с.

возникнуть опасная ситуация, когда действиями только одного судна невозможно найти безопасное решение. В этом случае необходимо согласованное маневрирование нескольких судов. Такие действия, проводимые несколькими судами с целью безопасного расхождения, будем называть *кооперативным маневрированием*.

В случае, если такие действия должны проводиться безэкипажными судами, естественно говорить о выработке и реализации коллективного решения группой автоматов, управляющих этими судами. Соответственно для решения этой задачи может быть использована теория мульти-агентных систем. Подобный подход к решению задачи безопасного расхождения был предложен авторами в [10] и далее получил развитие в работе [11]. В этих работах предлагается использовать для управления каждым безэкипажным судном агента. Соответственно кооперативное решение по безопасному расхождению вырабатывается группой агентов, которые должны иметь возможность обмениваться друг с другом информацией. Однако поскольку каждый из агентов самостоятельно проводит оценку текущей навигационной ситуации и вырабатывает решение по расхождению, необходимо чтобы они однозначно интерпретировали эту навигационную ситуацию, т. е. необходим некий *общий базис*, на котором агенты будут строить свои дальнейшие решения. В данной работе рассматривается задача кооперативного маневрирования безэкипажных судов и предлагается такой базис, а также рассматриваются его основные свойства.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Задача безопасного расхождения судна с другим судном или с группой судов решается на основе информации о взаимном расположении судов, векторах их текущих скоростей и статусах. В современных условиях эта информация с достаточной точностью известна, что переводит указанную задачу в класс детерминированных. Однако все это относится к идеальным условиям встречи: открытое море, все суда абсолютно идентичны. Такая ситуация возможна лишь теоретически либо может быть смоделирована на тренажере. В действительности, задачу безопасного расхождения приходится решать в некоторых реальных условиях, отличных от идеальных, которые оказывают существенное влияние на получаемые решения. Таким образом, очевидно, что решения по безопасному расхождению, принимаемые в условиях реальной внешней среды, должны им соответствовать. Совокупность этих условий, которую будем называть *реальной навигационной обстановкой*, состоит из многих факторов, одна часть которых доступна наблюдению, а другая — недоступна. Очевидно, что решения принимаются только на основе известных (наблюдаемых) факторов текущей навигационной обстановки. Прежде всего разделим задачу безопасного расхождения судов на две части:

- *задача А* — оценка опасности реальной навигационной обстановки;
- *задача В* — определение маневра для безопасного расхождения.

Кроме того, совокупность факторов, объединенных понятием «*реальная навигационная обстановка*», разделим на две группы:

- основные факторы, необходимые для решения задачи безопасного расхождения в идеальных условиях и
- дополнительные факторы, которые необходимо дополнительно учитывать при решении задачи безопасного расхождения в реальной навигационной обстановке.

Очевидно, что без знания значений основных факторов невозможно корректное решение задачи безопасного расхождения. В настоящей работе будут рассматриваться дополнительные факторы и их влияние на решение задачи безопасного расхождения.

Определение. *Контекст* — это совокупность интерпретаций наблюдаемых факторов реальной навигационной обстановки, которые необходимо дополнительно учитывать при решении задачи безопасного расхождения.

В приведенном определении важны следующие аспекты:

- в контекст включаются не все факторы, определяющие реальную навигационную ситуацию, а только дополнительные факторы,

– контекст представляет собой не совокупность (множество) факторов или их наблюдаемых значений, а именно интерпретации этих значений.

Последний аспект требует также использования для построения контекста некоторой системы интерпретаций.

Постановка задачи (Formulation of the Problem)

В мире безэкипажного (автономного) судоходства в одной акватории могут находиться несколько безэкипажных судов. В этом случае возникает задача кооперативного маневрирования, т. е. совместного принятия решений агентами, управляющими безэкипажными судами по их безопасному движению. Все агенты находятся в одной и той же реальной навигационной ситуации. Поэтому для решения задач оценки ее безопасности и кооперативного маневрирования важно, чтобы каждый из агентов использовал одинаковое множество факторов, определяющих эту ситуацию, т. е. все агенты должны одинаково интерпретировать реальную навигационную ситуацию, а значит, использовать одинаковый контекст.

Таким образом, основным вопросом, решаемым в данной работе, является создание основ построения контекста реальной навигационной ситуации, который может быть использован агентами, управляющими различными безэкипажными судами для совместного решения задачи кооперативного маневрирования.

Результаты (Results)

Прежде всего необходимо разделить основные и дополнительные факторы, определяющие реальную навигационную ситуацию.

Основными факторами, необходимыми для решения задач оценки навигационной ситуации и безопасного расхождения в идеальных условиях являются количество встречных судов и характеристики каждого встречного судна:

- статус (в терминах Правила 3 МППСС);
- положение относительно других судов;
- вектор движения (курс и скорость).

В современных условиях будем считать, что значения этих факторов с достаточной точностью известны лицу, принимающему решения (в данном случае агенту). Эти значения могут быть получены достаточно надежно путем комплексирования информации от судовых систем ARPA и AIS. Имея эти значения, агент может решить задачу оценки навигационной ситуации и получить решение по безопасному расхождению. Однако даже в этом случае в процессе принятия решения агентом неявно используются следующие предположения о навигационной обстановке, в которой решается задача, т. е. значения дополнительных факторов «по умолчанию»:

- открытое море;
- все суда находятся на виду друг у друга;
- критерии опасности у всех других агентов такие же, как и у данного агента;
- все суда движутся прямолинейно в соответствии с их текущими элементами движения;
- все суда идентичны по своим параметрам, включая динамические характеристики (могут отличаться только их статусы).

Фактически это и есть некоторый нулевой контекст по умолчанию, используемый при отсутствии или игнорировании реальной информации о значениях *дополнительных факторов*. Соответственно использование нулевого контекста приводит к получению решений, неадекватных реальной навигационной обстановке. Это утверждение может быть проиллюстрировано следующим образом.

Предположение о встрече в открытом море, очевидно, может приводить к получению решений по маневрированию, ведущим к навигационным опасностям, выходу за безопасную изолату или входу в запрещенные для плавания районы. Кроме того, даже МППСС предполагает различные действия по расхождению в различных условиях: открытом море, узкостях или СРД.

Предположение об условиях видимости в районе плавания является ключевым, поскольку в различных условиях видимости изменяются логика действий по предотвращению столкновения. В частности, в условиях ограниченной видимости применяется Правило 19 МППСС, в котором не только определяются действия судов, но и отменяются взаимные обязанности судов, установленные Правилем 18 для условий встречи на виду друг у друга. Поскольку рассматривается задача кооперативного расхождения, то очевидно, что каждый из агентов, участвующих в решении данной задачи, должен одинаково понимать складывающиеся в данный момент условия видимости в районе плавания, иначе они не смогут найти адекватное решение.

Предположение об одинаковом значении критериев опасности для разных агентов также является слишком грубым. Прежде всего, сами критерии могут различаться. Например, использование в качестве критерия домена безопасности как некоторой области вокруг судна приводит к различным конфигурациям этих областей. Даже использование простейшего критерия опасности в виде дистанции и времени кратчайшего сближения (домен безопасности — окружность с центром в ЦТ судна) приводит к неоднозначности. Каждый из агентов может использовать собственные значения этих параметров. Это может привести к тому, что одну и ту же навигационную ситуацию разные агенты могут оценивать по-разному. Например, агент судна, которому в данной ситуации сближения должны уступать дорогу, считает ситуацию опасной, а агент судна, которое должно уступать дорогу, считает эту ситуацию не опасной. В этом случае, с точки зрения первого агента, второй агент, не предпринимающий ожидаемых им действий по расхождению, будет нарушать МППСС и вынужден будет сам предпринять действия согласно Правилу 17b, что, в свою очередь, может спровоцировать неадекватные действия второго агента и привести ситуацию к *объективно опасному состоянию*.

Поскольку оценка навигационной ситуации выполняется на основе прогноза движения всех судов в данном районе плавания, важным является корректность этого прогноза. Однако, не имея информации о планируемых маршрутах движения других судов, агент может использовать для прогнозирования траектории движения каждого из них только текущее значение вектора движения этого судна, считая, что на период прогноза оно будет двигаться текущим курсом с текущей скоростью. Такие прогнозы могут не соответствовать реальным траекториям движения судов и, соответственно, будут приводить к неверным оценкам опасности навигационной ситуации и ошибочным решениям по расхождению.

Предположение об идентичности всех судов собственному судну означает использование для прогноза траекторий движения всех окружающих судов модели динамики собственного судна. В случае, если решением агента является маневрирование только собственного судна, это предположение не оказывает никакого отрицательного влияния. Однако, поскольку речь идет о кооперативном маневрировании, в этом случае полученное агентом решение по безопасному расхождению может предусматривать маневрирование встречных судов. В этом случае использование для расчета траектории движения другого судна модели динамики собственного судна приводит к неадекватности данного решения. Более того, поскольку речь идет о кооперативном принятии решений, результаты, полученные в одной и той же ситуации разными агентами (использующими для всех других судов модель динамики собственного судна), будут существенно различаться и согласовать их будет достаточно проблематично. Таким образом, контекст должен содержать следующие сведения о районе плавания:

- тип района;
- текущие условия видимости,

а также следующую информацию обо всех находящихся в этом районе судах:

- критерии оценки уровня опасности агентом;
- предпринимаемый маневр;
- планируемый маршрут;
- тип судна;
- размерения;
- динамические характеристики.

Эта информация (контекст) должна однозначно определять текущие условия в районе плавания и используется агентами при решении задачи безопасного расхождения. Поскольку данная задача решается совместно, то и контекст, используемый различными агентами, должен быть идентичным. Таким образом, контекст может быть формализован следующим образом:

$$C = \{C^r, \bigcup_{i \in I} C_i^s\},$$

где C^r — контекст района плавания;

C_i^s — контекст i судна в районе плавания;

I — множество судов в районе плавания.

Обсуждение (Discussion)

Поскольку контекст текущей навигационной обстановки должен использоваться всеми агентами, которые находятся в районе плавания, обмен этой информацией должен быть частью протокола взаимодействия агентов при решении задачи кооперативного маневрирования. Поэтому он должен обладать следующими важными свойствами: быть универсальным и компактным.

Свойство *универсальности* требует применения однотипных данных в контексте, который используют все агенты, а *компактность* этих данных позволит быстрее проводить обмен контекстами между агентами. Таким образом, как отмечалось ранее, в контекст должны входить не значения факторов, а их интерпретации. При этом ключевым вопросом является использование всеми агентами некоторой общей базы интерпретаций, в которой будут представлены значения факторов. База интерпретаций должна предоставить для каждого фактора, учитываемого в контексте, конечное множество вариантов, которые могут быть легко и компактно закодированы и переданы всем агентам.

Для указанных ранее элементов контекста может быть предложена база интерпретаций с использованием следующих обозначений:

$\langle \dots, \dots, \dots \rangle$ — перечисление вариантов значения;

$(\dots, \dots, \dots)$ — список совместно используемых значений.

О районе плавания:

– тип района: $\langle \text{OPENSEA}, \text{NARROW}, \text{TSS} \rangle$,

в данном случае используется перечень районов плавания, для которых в МППСС предусмотрены различные правила маневрирования;

– текущие условия видимости $\langle \text{CLEAR}, \text{FOG} \rangle$,

в данном случае используется перечень условий, для которых в МППСС предусмотрены различные правила маневрирования.

О каждом судне:

– критерии оценки уровня опасности агентом = $(\text{CPA}, \text{TCPA})$,

в данном случае используется домен безопасности в виде окружности с центром в ЦТ судна, поэтому в качестве критерия безопасности выступает пара: дистанция кратчайшего сближения – время кратчайшего сближения;

– предпринимаемый маневр = $\langle \text{NO}, (\text{TURN}, \text{COURSE}), (\text{ENGINE}, \text{SPEED}) \rangle$,

в данном случае используется перечень вариантов маневра: отсутствие маневра, маневр курсом или скоростью, для маневра курсом указывают новый курс, для маневра скоростью — новую скорость;

– планируемый маршрут = $((F, L, V) \dots)$,

используется список маршрутных точек с указанием координат маршрутной точки и скорости на новом участке маршрута, в котором передаются маршрутные точки на заданный период (например, час) вперед + следующая маршрутная точка за пределами этого периода;

– тип судна = $\langle \text{TYPE1}, \text{TYPE2}, \dots \rangle$,

тип судна передается в сообщениях AIS и, соответственно, необходимо использовать типы, определяемые в стандарте AIS;

– размерения = (L, B, T),

размерения судна передаются в сообщениях AIS;

– динамические характеристики = (S0, R1, A1, W1, R2, A2, W2, ALFA),

где перечислены параметры упрощенной модели динамики судна, описанной в источнике [12], которые позволяют построить прогноз траекторию движения судна при различных маневрах курсом или скоростью. В случае использования других моделей перечень параметров может быть иным.

Следует отметить, что база интерпретаций может содержать в себе некоторую базу данных, в которой могут быть связаны варианты: тип судна — размерения с динамическими характеристиками судов данного типа и размерений. В этом случае можно отказаться от включения в контекст вектора динамических характеристик каждого из встречных судов, используя только их тип и размерения, которые передаются средствами AIS, но в этом случае важно наличие и идентичность таких баз данных у каждого агента.

Заключение (Conclusion)

В статье рассмотрены особенности решения задачи кооперативного маневрирования для обеспечения безопасного расхождения судов в море, в частности проблема однозначного понимания условий текущей навигационной обстановки различными агентами, совместно решающими задачу кооперативного маневрирования в заданной акватории.

Предложено использовать для этого контекст, который содержит интерпретации условий текущей навигационной обстановки. Использование одного контекста всеми агентами позволяет им одинаково понимать текущие условия. Предложено содержание контекста, однако очевидно, что его содержание может быть дополнено интерпретациями других дополнительных факторов, которые могут быть использованы при решении задачи безопасного расхождения (например, гидрометеофакторами). Вместе с тем открытым остается вопрос формирования контекста для навигационной ситуации в акватории с пространственной неоднородностью условий (например, различных условиях видимости в разных частях акватории). В этом случае, видимо, необходимо использовать составной контекст, что является темой дополнительных исследований. Кроме того, в статье не рассматривалась проблема согласования контекста между агентами, которая должна являться составной частью протокола общения агентов при кооперативном маневрировании и ее обсуждение выходит за рамки настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев С. Н.* Интеллектуальное управление динамическими системами / С. Н. Васильев [и др.]. — М.: Физматлит, 2000. — 352 с.
2. *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.
3. *Woerner K. L.* Collision avoidance road test for colregs-constrained autonomous vehicles / K. L. Woerner [et al.]. // OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey. — IEEE, 2016. — Pp. 1–6. DOI: 10.1109/OCEANS.2016.7761413.
4. *Цымбал Н. Н.* Формализация МППСС-72 в части координации взаимодействия судов при расхождении / Н. Н. Цымбал, Р. Ю. Бужбецкий // Судовождение. — 2006. — № 12. — С. 124–129.
5. *Вагущенко Л. Л.* Поддержка решений по расхождению с судами / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко. — Одесса: Феникс, 2010. — 229 с.
6. *Вагущенко Л. Л.* Мультиагентный подход к решению задач расхождения судов / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко // Судовождение. — 2008. — № 15. — С. 35–43.
7. *Dmitriev S. P.* Safety Measures for a Ships Passing Track in the Multiagent Framework / S. P. Dmitriev, N. V. Kolesov, A. V. Osipov // IFAC Proceedings Volumes. — 2000. — Vol. 33. — Is. 21. — Pp. 373–377. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)37103-3.

8. Дмитриев С. П. Автоматический синтез траекторий движения как средство интеллектуальной поддержки судоводителя / С. П. Дмитриев [и др.] // Гирскопия и навигация. — 2001. — № 3 (34). — С. 19–31.
9. Дмитриев С. П. Система интеллектуальной поддержки судоводителя при расхождении судов / С. П. Дмитриев [и др.] // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. — 2003. — № 2. — С. 98–105.
10. 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.
11. Смоленцев С. В. Кооперативное маневрирование безэкипажных судов для безопасного расхождения в море / С. В. Смоленцев, А. Е. Сазонов, Ю. М. Искандеров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 687–695. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-687-695.
12. Смоленцев С. В. Простая аналитическая модель движения судна / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21.

REFERENCES

1. Vasilev, S. N., et al. *Intellectualnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami*. M.: Fizmatlit, 2000.
2. Johansen, Tor Arne, Tristan Perez, and Andrea 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
3. 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*. IEEE, 2016. 1–6. DOI: 10.1109/OCEANS.2016.7761413
4. Cymbal, N. N., and R. Ju. Buzhbeckij. “Formalizacija MPPSS-72 v chasti koordinacii vzaimodejstviya sudov pri rashozhdenii.” *Sudovozhdenie* 12 (2006): 124–129.
5. Vagushhenko, L. L., and A. L. Vagushhenko. *Podderzhka reshenij po rashozhdeniju s sudami*. Odessa: Feniks, 2010.
6. Vagushhenko, L. L., and A. L. Vagushhenko. “Multiagentnyj podhod k resheniju zadach rashozhdenija sudov.” *Sudovozhdenie* 15 (2008): 35–43.
7. Dmitriev, S. P., N. V. Kolesov, and A. V. Osipov. “Safety Measures for a Ships Passing Track in the Multiagent Framework.” *IFAC Proceedings Volumes* 33.21 (2000): 373–377. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)37103-3
8. Dmitriev, S. P., N. V. Kolesov, A. V. Osipov, and G. N. Romanycheva. “Avtomaticeskij sintez traektorij dvizhenija kak sredstvo intellektual’noj podderzhki sudovoditelja.” *Gyroscopy and Navigation* 3(34) (2001): 19–31.
9. 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.
10. 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.
11. Smolentsev, Sergey V., Anatolii E. Sazonov, and Yurii M. Iskanderov. “Cooperative maneuvering of unmanned ships for collision avoidance at sea.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.4 (2018): 687–695. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-687-695.
12. Smolentsev, Sergey V., and Dmitry V. Isakov. “A simple analytical model of ship movement.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21.

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

Сазонов Анатолий Ефимович —

доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени

адмирала С.О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

ул. Двинская, 5/7

e-mail: kaf_avt@gumrf.ru

Пелевин Александр Евгеньевич —

доктор технических наук,

ведущий научный сотрудник

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

197046, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

ул. Малая Посадская, 30

e-mail: apelevin@eprib.ru, aepelevin@mail.ru

Sazonov, Anatolii E. —

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: kaf_avt@gumrf.ru

Pelevin, Alexander E. —

Dr. of Technical Sciences,

Leading Researcher

Concern CSRI Elektropribor, JSC

30, Malaja Posadskaja Str., St. Petersburg,

197046, Russian Federation

e-mail: apelevin@eprib.ru, aepelevin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24 января 2020 г.

Received: January 24, 2020.