

## Модель прохождения судов через участок водного пути формирующая расписание в процессе своего выполнения

Сергей Н. Плотников<sup>1</sup> 279622@mail.ru  
Владимир Е. Марлей<sup>2</sup> vmarley@yandex.ru

<sup>1</sup> Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, ул. Двинская, 5/7, г. Санкт-Петербург, 198035, Россия

<sup>2</sup> Воронежский филиал ФГБОУ ВО ГУМРФ имени адмирала Макарова С.О., Ленинский пр-т, 174, Воронеж, 394033, Россия

**Реферат.** Рассматривается модель прохождения судов через участок водного пути, которая самостоятельно определяет порядок прохождения судов при ограниченной пропускной способности участков пути. Такая модель будет состоять из ряда стандартных алгоритмических сетей. При составлении расписания в модели использовались следующие правила предпочтения: первый пришел – первый обслужен (то есть если судно заняло рабочее место, то это решение не отменяется); правило кратчайшей операции; для плесов приоритетность судов, идущих вниз по течению (направление течения от истока к стоку). Алгоритмическая сеть реализующая поиск допустимого расписания, должна для конфликтующих операций реализовывать следующее: начавшаяся операция не прерывается; если несколько операций одновременно претендуют на одно рабочее место (порт, плес) и их число больше его пропускной способности, то разрешение конфликта осуществляется в соответствии с заданными правилами предпочтения или на основании решения пользователя; если операция ожидает освобождения рабочего места, то она не занимает ресурс; возврат ресурса осуществляется сразу после завершения операции. Рассмотренная конструкция алгоритмических сетей позволяет разрешить конфликт, при одновременном требовании ресурса, однократно забрать ресурс, запомнить, что он получен и возвратить его после окончания операции, потом ресурс получает конкурирующая операция для выполнения. Вместе с тем использование данной конструкции вносит избыточность в модель даже если использовать ее только для конфликтующих операций. Модель представлена в языке алгоритмических сетей и реализована в системе автоматизации моделирования КОГНИТРОН.

**Ключевые слова:** алгоритмические сети, расписание, водные пути, пропускная способность

## Model of passage of vessels through the waterway section forming the schedule in the course of its implementation

Sergei N. Plotnikov<sup>1</sup> 279622@mail.ru  
Vladimir E. Marlej<sup>2</sup> vmarley@yandex.ru

<sup>1</sup> State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarova Str. Dvinskaya, 5/7, St. Petersburg, 198035, Russia

<sup>2</sup> Voronezh branch of FGBOU V GOURMF named after Admiral Makarov SO, Leninsky prosp., 174, Voronezh, 394033, Russia

**Summary.** The model of passage of vessels through a section of the waterway is considered, which independently determines the order of passage of vessels with limited capacity of sections of the track. Such a model will consist of a number of standard algorithmic networks. When composing the schedule in the model, the following preference rules were used: first-come-first-served (that is, if the ship occupied the workplace, this decision is not canceled); The rule of the shortest operation; For the swamps the priority of vessels going downstream (the direction of flow from the source to the drain). An algorithmic network that implements the search for an acceptable schedule must implement the following for conflicting operations: the operation that has started is not interrupted; If several operations simultaneously claim for one workplace (port, reach) and their number is greater than its throughput, then the conflict resolution is carried out in accordance with predefined preference rules or based on the user's decision; If the operation is waiting for the release of the workplace, it does not occupy the resource; The resource is returned immediately after the operation is completed. The considered design of algorithmic networks allows to resolve the conflict, with a simultaneous resource request, to take the resource once, remember that it was received and return it after the end of the operation, then the resource receives a contra-controlling operation for execution. However, the use of this design introduces redundancy into the model, even if it is used only for conflicting operations. The model is presented in the language of algorithmic networks and is implemented in the system of modeling automation KOGNITRON.

**Keywords:** algorithmic networks, schedule, waterways, throughput

### Введение

К моделированию процесса прохождения судов можно подойти различными путями. Первый, самый простой – сгенерировать, при помощи какого-либо генератора, допустимое

расписание и моделировать его выполнение как выполнение обычного сетевого графика.

Такая модель будет состоять из ряда стандартных алгоритмических сетей (АС) [1, 4], таких как на рисунке 1.

#### Для цитирования

Марлей В.Е., Плотников С.Н. Модель прохождения судов через участок водного пути формирующая расписание в процессе своего выполнения // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 114–118. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-114-118

#### For citation

Marlej V.E., Plotnikov S.N. Model of passage of vessels through the waterway section forming the schedule in the course of its implementation. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 114–118. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-114-118

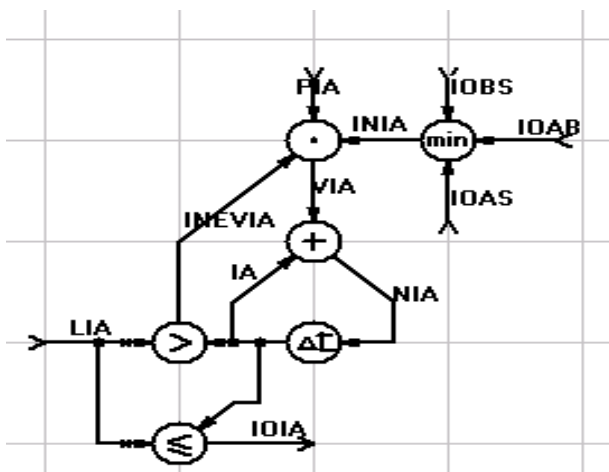


Рисунок 1. АС реализующая имитацию выполнения работы сетевого графика: LIA – трудоемкость выполнения работы; IA – текущий объем выполненной работы; IOIA – индекс окончания работы IA (единица или ноль); INIA – индекс начала работы IA; PIA – производительность работы IA; VIA – текущий прирост работы IA; INEVIA – индекс выполнения IA; IOBS, IOAS, IOAB – индексы окончания работ непосредственно предшествующих работе IA

Figure 1. AS implements the imitation of the work of the network schedule: LIA – the laboriousness of the work; IA – the current volume of work performed; IOIA – end of work IA (one or zero); INIA – the index of the beginning of work IA; PIA – performance IA; VIA – current increment of work IA; INEVIA – IA execution index; IOBS, IOAS, IOAB – end-of-operation indexes immediately preceding IA

Все индексы принимают значение ноль или единица, начальное значение выхода задержки ноль. Когда все индексы окончания предшествующих равны единице, то схема начинает работу, INEVIA = 1, так как объем выполненной работы пока меньше трудоемкости. Объем выполненной работы прирастает каждый такт на величину PIA, пока не станет равным трудоемкости, тогда прирост прекращается, так как INEVIA = 0, вырабатывается IOIA = 1, который поступает на аналогичные схемы других работ, непосредственно следующих за IA.

Кратко опишем процесс построения модели в данном случае:

- имеется технологическая матрица (строка соответствует работе, столбец операции, число в матрице номер рабочего места на котором выполняется операция данной работы)  $\|l_{ik}\|$
- временная матрица (аналогично технологической матрице, но в ячейках время выполнения операции)  $\|t_{ik}\|$
- вектор оборудования (в ячейках число одновременно обслуживаемых на данном рабочем месте работ, номер элемента соответствует номеру рабочего места)  $R$ .

Каждая строка технологической матрицы соответствует работе (i), элементы строки соответствуют номерам групп рабочих мест  $I_{ik}$  на которых выполняются отдельные операции (k) данной работы, то есть задает технологический маршрут. Временная матрица задает время выполнения данных операций на указанных группах рабочих мест ( $t_{ik}$ ). Вектор оборудования указывает число рабочих мест в каждой группе рабочих мест (номер группы рабочих мест соответствует индексу элемента вектора).

Необходимо построить допустимое расписание, когда каждую операцию выполняет не более чем одно рабочее место и каждое рабочее место обслуживает не более одной операции.

Воспользуемся для этого элементарным сетевым генератором допустимых расписаний. В основе его лежит следующее:

- все операции являются вершинами графа, обозначение вершины – это номер работы (соответствует номеру строки технологической матрицы), номера группы рабочих мест на котором выполняется операция и значения кратности захода на данное рабочее место (если рабочее место повторяется в технологическом маршруте несколько раз);
- все операции одной работы связываются дугами в последовательность, соответствующую технологическому маршруту, дуги нагружаются временем выполнения операций;
- операции разных работ, которым требуется одно и тоже рабочее место связываются ребрами;
- вводится вершина обозначающая конец выполнения всего комплекса работ.

Вычисляются ранние сроки начала выполнения операций без учета возможных конфликтов из-за рабочих мест, которые приписываются вершинам, все первоначальные операции считаются начинающимися одновременно.

Далее процесс происходит следующим образом:

1. Выбираются вершины, в которые не входит ни одна дуга.
2. Если вершина не связана ни с одним ребром, то ее срок начала и рассчитанный срок окончания включается в расписание, а вершина удаляется из рассмотрения вместе со всеми связанными с ней дугами.
3. Если вершина связана с ребром, на другом конце которого, также готовая к выполнению операция (нет входящих дуг), то необходимо разрешение конфликта, производящееся по правилам предпочтения.
4. Если он разрешен в пользу данной вершины, то все ребра, связанные с данной вершиной, становятся дугами, нагруженными временем выполнения данной работы. Пересчитываются сроки начала операций на концах дуг с учетом времени окончания выбранной операции, выбирается

максимальное время. Сроки начала и окончания операции включаются в расписание, и она исключается из рассмотрения вместе со всеми связанными с ней дугами.

5. Если конфликт разрешен не в пользу рассматриваемой операции, то она становится вершиной, в которую заходят дуги, и, следовательно, не готова к выполнению.

6. Если еще есть вершины помимо конечной, то к пункту 1.

Рассмотрим это на примере формирования графика прохождения судов на выделенном участке водного пути.

Участок пути, для которого формируется график прохождения судов приведен на рисунке 2.

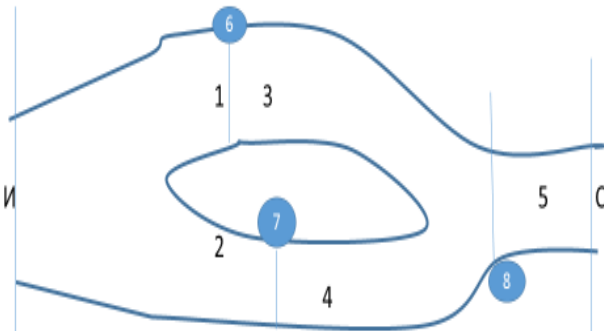


Рисунок 2. Участок водного пути

Figure 2. Waterway site

Все объекты участка пронумерованы сквозной нумерацией, объекты соответствуют рабочим местам, работы соответствуют судам, проходящим через участок, точки прохождения маршрута судами можно проинтерпретировать как операции работы.

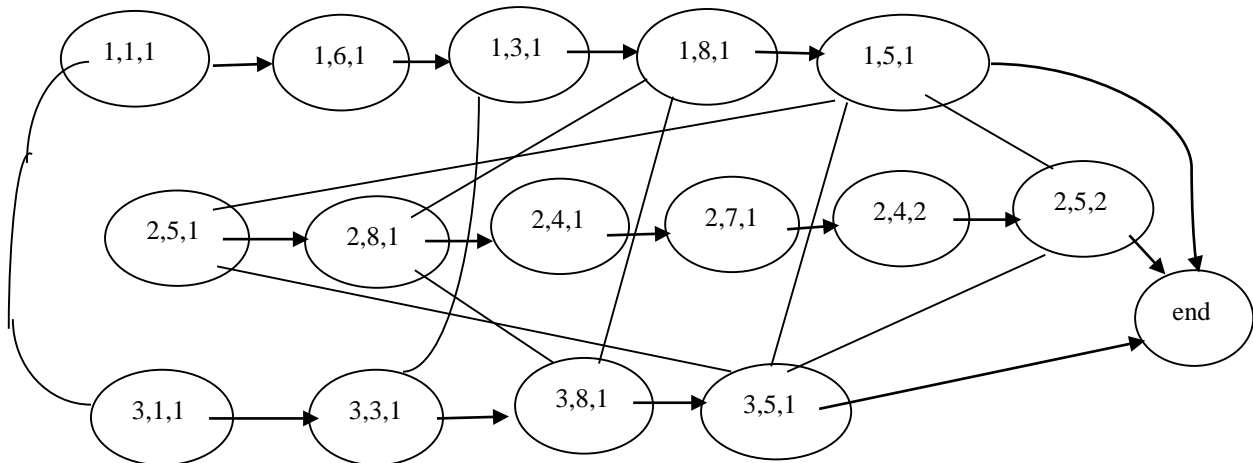


Рисунок 3. Граф операций по прохождению участка водного пути

Figure 3. The graph of operations on the passage of a section of the waterway

Очевидно, что, в данном случае, с учетом пропускной способности можно не учитывать возможные конфликты при прохождении плеса 1 и порта 8 (конкурируют только 2 операции и пропускная способность 2). Для получения расписания можно воспользоваться вышеописанным

На участке имеются следующие объекты:

- плес 1, от истока (И) до порта 6;
- плес 2, от истока до порта 7 на острове;
- плес 3, от порта 6 до порта 8;
- плес 4, от порта 7 до порта 8;
- плес 5, от порта 8 до стока (С);
- порты 6, 7, 8, их расположение ясно из плана участка на рисунке 3.

Имеются 3 судна, их маршруты:

1. Маршрут первого судна (в номерах рабочих мест): 1 – 6 – 3 – 8 – 5.
2. Маршрут второго судна: 5 – 8 – 4 – 7 – 4 – 5.
3. Маршрут третьего судна: 1 – 3 – 8 – 5.

Маршруты можно представить в виде технологической матрицы:

$$\|l_{ik}\| = \begin{vmatrix} 1 & 6 & 3 & 8 & 5 & - \\ 5 & 8 & 4 & 7 & 4 & 5 \\ 1 & 3 & 8 & 5 & - & - \end{vmatrix}.$$

Время выполнения операций можно аналогично временной матрицей:

$$\|t_{ik}\| = \begin{vmatrix} 2 & 3 & 4 & 5 & 2 & - \\ 2 & 3 & 6 & 4 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 3 & 4 & - & - \end{vmatrix}.$$

Вектор оборудования будет, в данном случае, задавать пропускную способность плесов и портов (сколько судов одновременно сможет обслуживать рабочее место)  $R = (2 \ 1 \ 1 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 2)$ .

Исходный граф операций по прохождению участка водного пути приведен на рисунке 3.

генератором и затем промоделировать при помощи схемы приведенной на рисунке 1.

Однако можно сразу строить модель, которая сама будет строить расписание в процессе своего выполнения.

При составлении расписания в модели использовались следующие правила предпочтения:

- Первый пришел – первый обслужен (то есть если судно заняло рабочее место, то это решение не отменяется).
- Правило кратчайшей операции.
- Для плесов приоритетность судов, идущих вниз по течению (направление течения от истока (И) к стоку (С)).

АС реализующая поиск допустимого расписания, должна для конфликтующих операций реализовывать следующее:

- Начавшаяся операция не прерывается.

• Если несколько операций одновременно претендуют на одно рабочее место (порт, плес) и их число больше его пропускной способности, то разрешение конфликта осуществляется в соответствии с заданными правилами предпочтения или на основании решения пользователя.

• Если операция ожидает освобождения рабочего места, то она не занимает ресурс.

• Возврат ресурса осуществляется сразу после завершения операции.

На рисунке 4 показана АС взаимодействия операций на примере плеса 5.

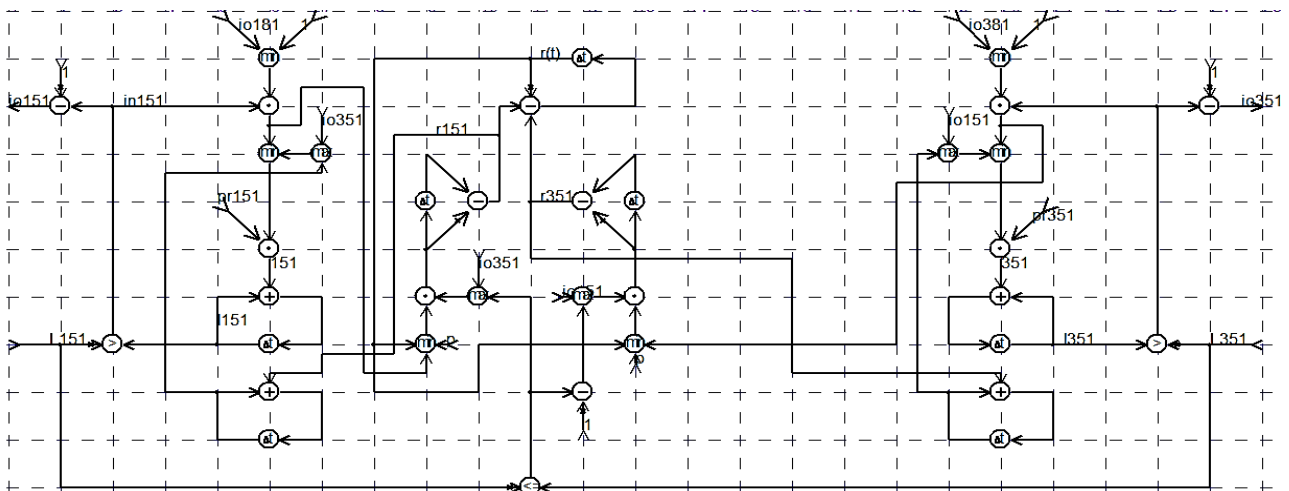


Рисунок 4. АС взаимодействующих операций на примере плеса 5

Figure 4. AS of interacting operations on the example of the 5

На рисунке 5 показана графики операций 151 и 351 при конфликте из-за плеса 5. Сработало правило кратчайшей операции (оба судна идут вниз)

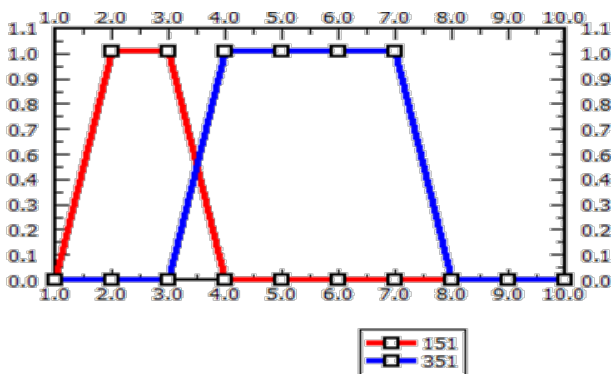


Рисунок 5. Графики выполнения операций 151 и 351 при их одновременной претензии на плес 5

Figure 5. Schedules of operations 151 and 351 with their simultaneous claim to the 5

Рассмотренная конструкция АС позволяет разрешить конфликт, при одновременном требовании ресурса (здесь плес 5), однократно забрать ресурс, запомнить, что он получен и вернуть его после окончания операции, потом ресурс получает конкурирующая операция

для выполнения. Вместе с тем использование данной конструкции вносит избыточность в модель даже если использовать ее только для конфликтующих операций.

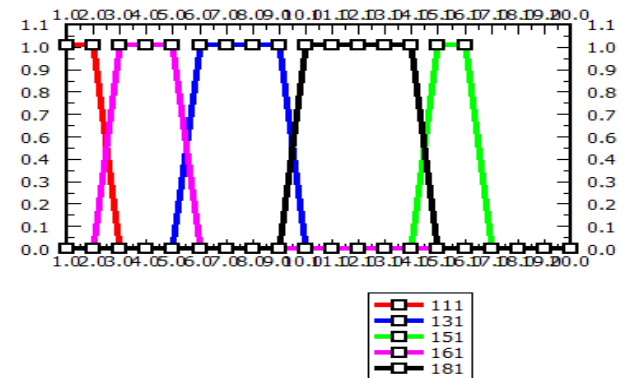


Рисунок 6. Графики выполнения прохождения участка водного пути для первого судна

Figure 6. Schedules of operations passage waterway section of the first vessel

На рисунке 6 приведены графики выполнения прохождения участка водного пути для первого судна, полученные для полной модели.

Модель реализована в системе автоматизации моделирования КОГНИТРОН [2, 3].

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Иванищев В.В., Марлей В.Е., Введение в теорию алгоритмических сетей. СПб.: СПбГТУ, 2000, 180 с.
- 2 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662846 Система автоматизации моделирования на основе алгоритмических сетей (КОГНИТРОН 2014).
- 3 Плотников С.Н. Распознавание изоморфного вложения алгоритмических сетей // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2014. № 2. С. 5–9.
- 4 Марлей В.Е., Плотников С.Н. Алгоритм распознавания изоморфного вложения алгоритмических сетей // Вестник ВГУИТ. 2014. № 3 (61). С. 72–75.
- 5 Huang S. Y. et al. A marine traffic simulation system for hub ports // Proceedings of the 1st ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation. 2013. P. 295-304.
- 6 Puszcz A., Gucma L. 22. Towards the Model of Traffic Flow on the Southern Baltic Based on Statistical Data // Miscellaneous Problems in Maritime Navigation, Transport and Shipping: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2011. P. 165.
- 7 Mou J. M., Van der Tak C., Ligteringen H. Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data // Ocean Engineering. 2010. V. 37. №. 5. P. 483-490.
- 8 Goerlandt F., Kujala P. Traffic simulation based ship collision probability modeling // Reliability Engineering & System Safety. 2011. V. 96. №. 1. P. 91-107.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сергей Н. Плотников** д. т. н., профессор, кафедра, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, ул. Двинская, 5/7, г. Санкт-Петербург, 198035, Россия, 279622@mail.ru  
**Владимир Е. Марлей** ст. преподаватель, кафедра, Воронежский филиал ФГБОУ ВО ГУМРФ имени адмирала Макарова С.О., Ленинский пр-т, 174, Воронеж, 394033, Россия, vmarley@yandex.ru

## КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Сергей Н. Плотников** консультация в ходе исследования  
**Владимир Е. Марлей** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.01.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 01.02.2017

## REFERENCES

- 1 Ivanishchev V.V., Marley V.E. Vvedenie v teoriyu [Introduction to the theory of algorithmic networks] Saint-Petersburg, St. Petersburg State Technical University, 2000, 180 p. (in Russian)
- 2 Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii №2015662846 [Certificate of state registration of the computer program № 2015662846 Automation system for modeling based on algorithmic networks (COGNITRON 2014)] (in Russian)
- 3 Plotnikov S.N. Recognition of isomorphic embedding of algorithmic networks. *Vestnik VGU* [Bulletin of the Vologda State University. Series: System analysis and information technology] 2014, no. 2, pp. 5-9. (in Russian)
- 4 Marley V.E., Plotnikov S.N. Algorithm for recognizing the isomorphic embedding of algorithmic networks. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET] 2014, no. 3 (61), pp. 72-75. (in Russian)
- 5 Huang S. Y. et al. A marine traffic simulation system for hub ports. Proceedings of the 1st ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation. 2013, pp. 295-304.
- 6 Puszcz A., Gucma L. 22. Towards the Model of Traffic Flow on the Southern Baltic Based on Statistical Data. Miscellaneous Problems in Maritime Navigation, Transport and Shipping: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2011, pp. 165.
- 7 Mou J. M., Van der Tak C., Ligteringen H. Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data. *Ocean Engineering*. 2010, vol. 37, no. 5, pp. 483-490.
- 8 Goerlandt F., Kujala P. Traffic simulation based ship collision probability modeling. *Reliability Engineering & System Safety*. 2011, vol. 96, no. 1, pp. 91-107.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Sergei N. Plotnikov** doctor of technical sciences, professor, .. department, перевод, Dvinskaya str., 5/7, St Petersburg, 198035, Russia, 279622@mail.ru

**Vladimir E. Marlej** senior lecturer, ... department, перевод, Leninskiy Av., 174, Voronezh, 394033, Russia, vmarley@yandex.ru

## CONTRIBUTION

**Sergei N. Plotnikov** consultation during the study  
**Vladimir E. Marlej** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.1.2017

ACCEPTED 2.1.2017