

УДК 629.123, 656.6.08: 004.9

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ С ПАССАЖИРСКОГО СУДНА ПРИ АВАРИИ

А.В. Кипер, Т.С. Станкевич

ФГБОУ ВПО «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота»,
Россия, 236029, г. Калининград, ул. Молодежная, 6
E-mail: kiper.aleksandr@yandex.ru

Рассмотрены основные аспекты разработки системы поддержки принятия решений по выбору оптимального по критериям безопасности и протяженности маршрута пути спасения людей при пожаре на пассажирском судне. Обоснована целесообразность применения алгоритма Флойда-Уоршелла для определения оптимального пути спасения. Разработана система поддержки принятия решения по выбору оптимального пути спасения людей при пожаре на пассажирском судне с базой данных, обеспечивающих их хранение и использование в процессе функционирования системы. Оценена достоверность результатов поиска оптимального пути спасения.

кратчайший путь, спасение, теория графов, алгоритм Флойда-Уоршелла, пассажирское судно, авария

ВВЕДЕНИЕ

Пожар на морском судне – это опасная техногенная чрезвычайная ситуация, представляющая угрозу жизни и здоровью людей. Для локализации или ликвидации данной чрезвычайной ситуации, как правило, требуется помощь специальных сил и средств.

Согласно данным, приведенным Nelcom [1], пожары составили 7% от всего количества аварийных ситуаций с судами в Балтийском море в течение 2011 г. Пассажирские суда были вовлечены в 20% от всех зарегистрированных несчастных случаев, хотя составляют лишь 10% от общего количества судов в Балтийском море. То есть наиболее вероятно возникновение пожара именно на пассажирских судах.

Локализация и ликвидация пожара на пассажирском судне представляет собой достаточно длительный и сложный процесс. Ситуация значительно осложняется наличием большого количества пассажиров (пассажировместимость современных пассажирских судов составляет в среднем 1500-2000 чел.) [2]. Этот фактор существенно повышает вероятность катастрофического развития ситуации и гибели множества людей. Показательным примером данной ситуации на пассажирском судне является пожар на пароме «Суперпаром 14» 27 февраля 2004 г., когда погибли 187 чел.

В случае возникновения пожара на пассажирском судне первоочередной задачей каждого члена экипажа является незамедлительное оказание помощи людям, находящимся в опасной зоне. Единственным способом спасения людей является их безопасный вывод из зоны пожара. Не снижая роли всех

последующих этапов обеспечения безопасности человека, следует отметить, что первый этап – вывод людей – представляется наиболее важным и сложным. Это связано со специфическими условиями развития пожара на судне, различными внешними условиями и усугубляется фактором наличия на многопалубных судах сложной сети коридоров и переходов. Поэтому выбор оптимального (с точки зрения безопасности и протяженности) маршрута является ответственным процессом и требует значительного количества времени. Ошибка в его выборе может стать причиной травмирования и гибели как спасаемых, так и экипажа, существенного увеличения времени спасательных работ и дополнительного ущерба.

Обобщая вышесказанное, можно констатировать, что повышение достоверности выбора оптимального пути спасения людей при пожаре на пассажирском судне является *актуальной научной задачей*.

Для решения указанной задачи была разработана система выбора оптимального пути спасения людей на примере пассажирского судна Ecstasy [3]. Для поиска рационального программно-алгоритмического обеспечения системы определения пути спасения людей исследована методологическая база в предметной области. Результаты оценки различных методов позволили заключить, что решаемой задаче наилучшим образом соответствует методология теории графов. Ее применение дало возможность при минимальных временных и материальных затратах получить приемлемые результаты.

ОСОБЕННОСТИ СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ НА СУДНЕ ПРИ ПОЖАРЕ

Основным приоритетом для всего экипажа пассажирского судна в случае пожара является обеспечение безопасности пассажиров, их своевременная эвакуация и принятие дальнейших действий по спасению людей.

Спасение людей на судне проводится с одновременным развертыванием сил и средств, необходимых для локализации и ликвидации пожара. Если имеющихся ресурсов недостаточно для одновременного проведения работ по спасению людей и тушению пожара, то весь личный состав полностью привлекается к спасению людей.

Основными способами спасения пассажиров судна являются [4]: самостоятельный выход по безопасным направлениям (основные пути выхода, запасные и аварийные выходы); вывод спасаемых под надзором членов экипажа, выделенных для обеспечения спасения; вынос или подъем с помощью судовых средств и приспособлений людей, потерявших способность перемещаться самостоятельно.

В целях организации безопасного спасения людей при пожаре на судне предварительно разработаны аварийный план, расписание по тревогам, а также учебные материалы с инструкциями для аварийных групп и проверочными листами для их командиров. В аварийном плане судна содержится информация о принятых на судне сигналах тревог, включая кодовые сигналы, и общие инструкции действий экипажа по этим тревогам или сигналам. В него также включен план размещения коллективных спасательных средств на судне, эвакуационных зон, мест сбора экипажа и пассажиров, состав и назначение аварийных групп или партий и краткие инструкции [5]. Для информирования пассажиров судна относительно их места сбора и порядка действий, выполняемых

в случае аварии, в пассажирских каютах, а также на видном месте у мест сбора и в других пассажирских помещениях вывешиваются рисунки и инструкции [5].

То есть для каждого находящегося на борту человека предусмотрены четкие инструкции, которым надлежит следовать в случае аварии. Всякая задержка эвакуации, в том числе вызванная неправильным выбором маршрута движения, нередко приводит к блокированию ее опасными факторами пожара и гибели людей. Таким образом, существует необходимость в разработке простой, надежной и удобной автоматизированной системы, объективно определяющей оптимальные пути и очередность спасения людей с аварийного судна с учетом прогноза развития пожара.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПУТИ СПАСЕНИЯ

Определение пути спасения людей представляет собой задачу выбора оптимального маршрута в некоторой сети с предварительно заданным расположением элементов графа – вершин и ребер (под вершинами понимаются узлы развязки сети, а под ребрами – направления движения).

Согласно [6], в практике при решении задач определения оптимального пути наибольшее применение нашли алгоритмы Дейкстры, Флойда-Уоршелла и Беллмана-Форда. С целью выбора алгоритма, обеспечивающего наилучшие результаты при решении задачи поиска пути спасения, выполнена сравнительная их оценка. Установлено, что для решения поставленной задачи более рационально использовать алгоритм Флойда-Уоршелла. Он позволит не только найти кратчайшее расстояние между точками, определяющими начало маршрута и конечные элементы распространения, но и получить маршрутную информацию сразу для всех узлов сети.

Таким образом, для определения пути спасения людей использован алгоритм Флойда-Уоршелла. В ходе реализации алгоритма была создана база графов, отображающая структуру 14-палубного судна Ecstasy.

Блок-схема соответствующего алгоритма определения оптимального пути спасения изображена на рис. 1. В блок-схеме представлены последовательность и содержание необходимых для расчёта операций:

1. Ввод исходных данных: прогнозируемая площадь пожара S ; номер здания; номер этажа в здании; координаты начальной точки s движения и точного (прогнозируемого) места t нахождения людей; границы очага горения.

2. Корректировка базы данных с учётом прогноза развития пожара, осуществляемая программой автоматически без участия пользователя за короткий промежуток времени. Прогнозируемая площадь пожара определяется с помощью элементов искусственного интеллекта – гибридной сети ANFIS [7].

2.1. Для определения возможности распространения пожара на смежные с очагом горения помещения выполняется сравнение прогнозируемой площади пожара с площадью комнаты, где находится очаг горения, по формуле (1):

$$S \leq s_1, \quad (1)$$

где S – прогнозируемая площадь пожара, m^2 ; s_1 – площадь комнаты, где находится очаг горения, m^2 .

2.2. Затем полученные по формуле (1) результаты анализируются. Если площадь пожара S равна или меньше площади комнаты s_1 , то данная комната

объявляется опасной для движения. Тогда вершина p_1 графа, соответствующая данной комнате, удаляется из множества вершин \bar{p} . В этом случае процедура определения опасных для спасения людей помещений считается завершённой.

2.3. Если по формуле (1) прогнозируемая площадь пожара S больше площади комнаты s_1 , то необходимо определить все иные помещения, опасные для перемещения по ним людей.

Для этого из (2) определяется разница между данными площадями S_{p1} (m^2):

$$S_{p1} = S - s_1. \quad (2)$$

2.4. Затем полученная разность площадей S_{p1} (m^2) сравнивается с площадью смежной комнаты s_{i+1} (m^2), в которую, согласно прогнозу, распространится пожар. Сравнение выполняется по формуле (3):

$$S_{pi} \leq s_{i+1}, \quad (3)$$

где i – количество циклов; n – количество смежных помещений.

2.5. Если разность площадей, определённых с использованием (3), меньше или равна площади смежной комнаты, то эта комната (комнаты) объявляется опасной. Тогда данная вершина p_i^* удаляется из множества вершин \bar{p} , и расчет считается завершённым.

2.6. Если разность площадей, рассчитанных из (3), больше площади смежной комнаты, то по формуле (4) определяется модуль разницы между данными величинами, и цикл повторяется вновь:

$$S_{pi} = s_{i+1} - S_{pi}. \quad (4)$$

2.7. Выходные параметры: \bar{p} – скорректированная база графов; i – число циклов.

3. Первый этап выполнения алгоритма Флойда-Уоршелла – это определение сведений о графе для последующего их применения в расчёте: начальной матрицы расстояний D_0 и матрицы последовательности узлов S_0 для выбранного графа. Предполагается, что значение шага k равно 1.

4. На следующем этапе определяется возможность применения треугольного оператора алгоритма Флойда-Уоршелла ко всем элементам d_{ij} матрицы D_{k-1} . Для этого рассматривается возможность выполнения неравенства (5):

$$d_{ik} + d_{kj} < d_{ij}, \quad \langle \langle k, j \rangle \langle k, i \rangle j \rangle, \quad (5)$$

где d_{ik} – длина (вес) ребра $\langle \langle k \rangle \rangle$; d_{kj} – длина (вес) ребра $\langle \langle, j \rangle \rangle$; d_{ij} – длина (вес) ребра $\langle \langle j \rangle \rangle$; i, j – вершины графа; k – количество вершин ориентированного взвешенного графа.

5. В случае выполнения неравенства (5) существует возможность применения треугольного оператора ко всем элементам d_{ij} матрицы D_{k-1} . Тогда создаются две матрицы для последующего их использования при определении кратчайшего пути: D_k и S_k . Первая реализуется путём замены в матрице D_{k-1}

элемента d_{ij} на сумму $d_{ik} + d_{kj}$, а вторая – путём замены в матрице S_{k-1} элемента s_{ij} на k .

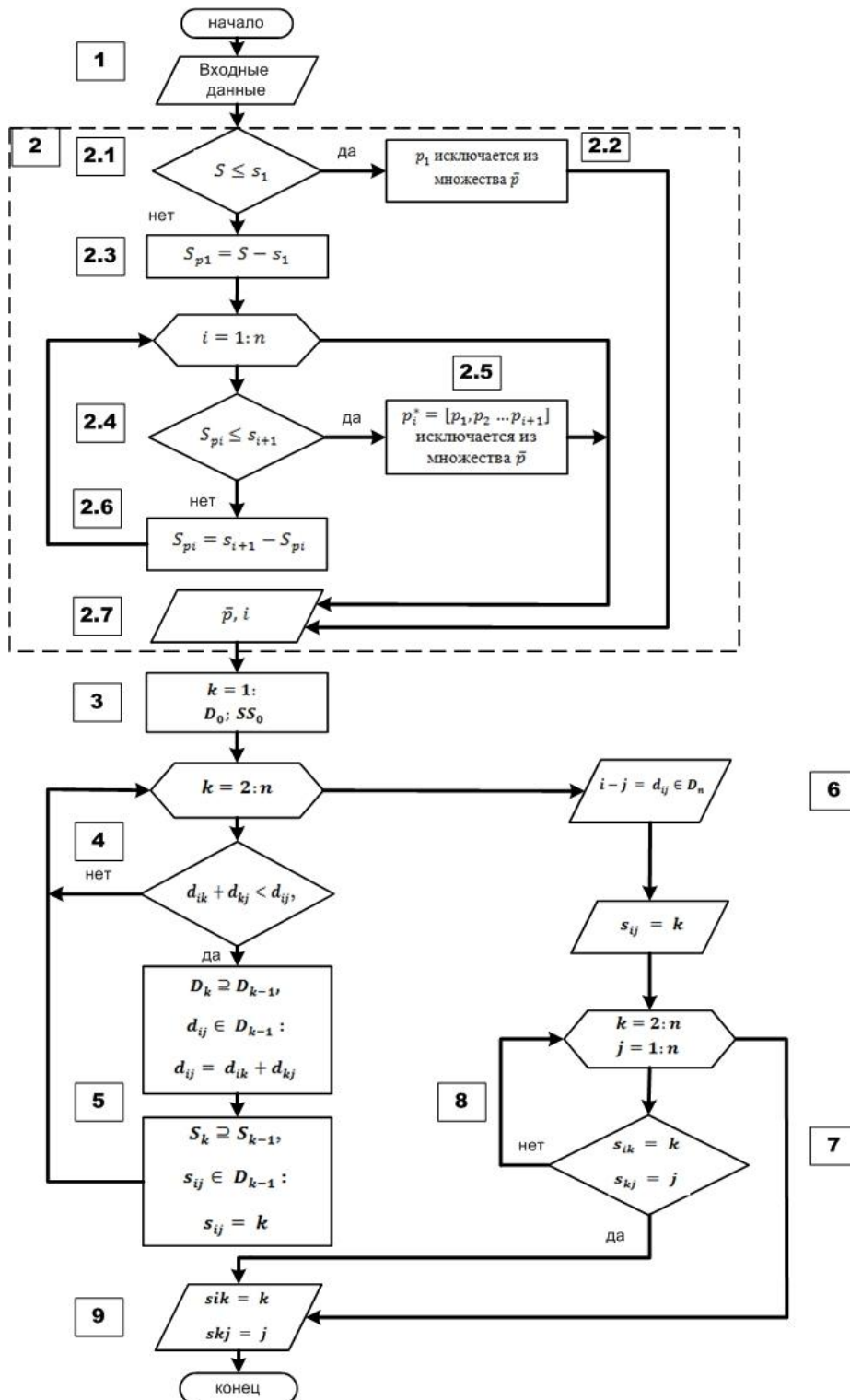


Рис. 1. Алгоритм определения кратчайшего пути спасения
Fig. 1. Algorithm for determining of the shortest evacuation route

6. Следующий этап выполнения алгоритма Флойда-Уоршелла – определение по матрицам D_n и S_n кратчайшего пути между узлами i и j после реализации n шагов алгоритма. Для выполнения данной операции выполняются следующие правила: расстояние между узлами i и j равно элементу d_{ij} в матрице D_n ; промежуточные узлы пути от узла i к узлу j определяются по матрице S_n .

7. Для определения всех промежуточных узлов пути от узла i к узлу j выполняются следующие действия. Предполагается, что в матрице S_n длина ребра $\langle i, j \rangle s_{ij} = k$, тогда путь $i > k > j$. Если далее длина ребра $\langle i, k \rangle s_{ik} = k$ и длина (вес) ребра $\langle k, j \rangle s_{kj} = j$, тогда считается, что весь путь определён, поскольку найдены все промежуточные узлы.

8. Если равенства $s_{ik} = k$ и $s_{kj} = j$ не выполняются, то повторяется описанная выше процедура для путей от узла i к узлу k и от узла k к узлу j .

9. Вывод полученного результата – матрицы последовательности узлов определённого маршрута спасения.

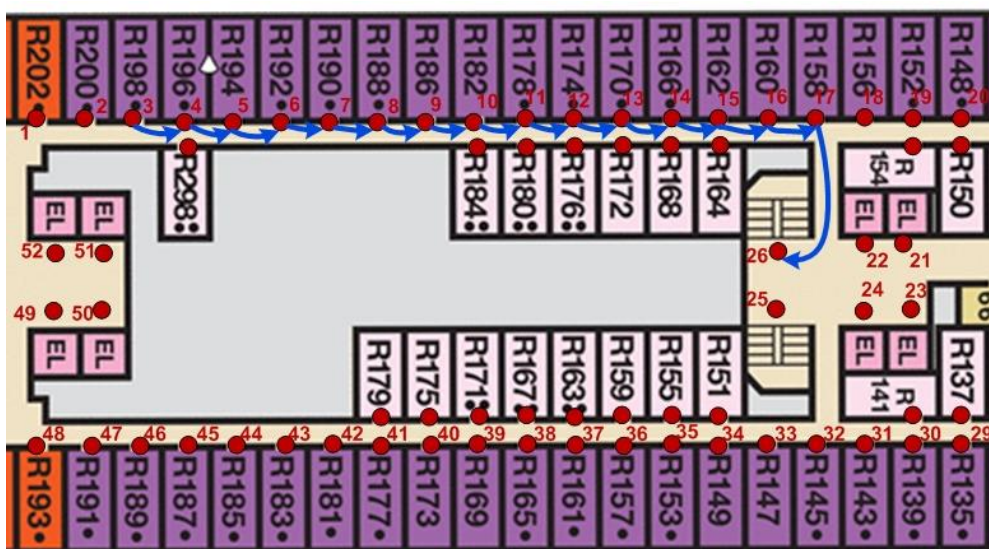
РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПУТИ СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ

Моделирование процессов принятия решения капитаном судна выполнено в среде Matlab R2010b с использованием Graph Theory Toolbox [8]. В качестве составной части системы поддержки принятия решений (СППР) для определения пути спасения людей при пожаре использована система прогнозирования развития пожара [7]. Для реализации СППР созданы: база данных о судне; m-функция для определения пути на основе алгоритма Флойда-Уоршелла; пользовательский интерфейс. Для определения пути спасения людей в случае пожара на судне необходимо ввести следующие показатели: тип объекта; координаты начала пути спасения; координаты места нахождения людей. После этого программа запускается нажатием кнопки «Маршрут движения». В качестве результата выводится схема оптимального пути и маршрутная информация.

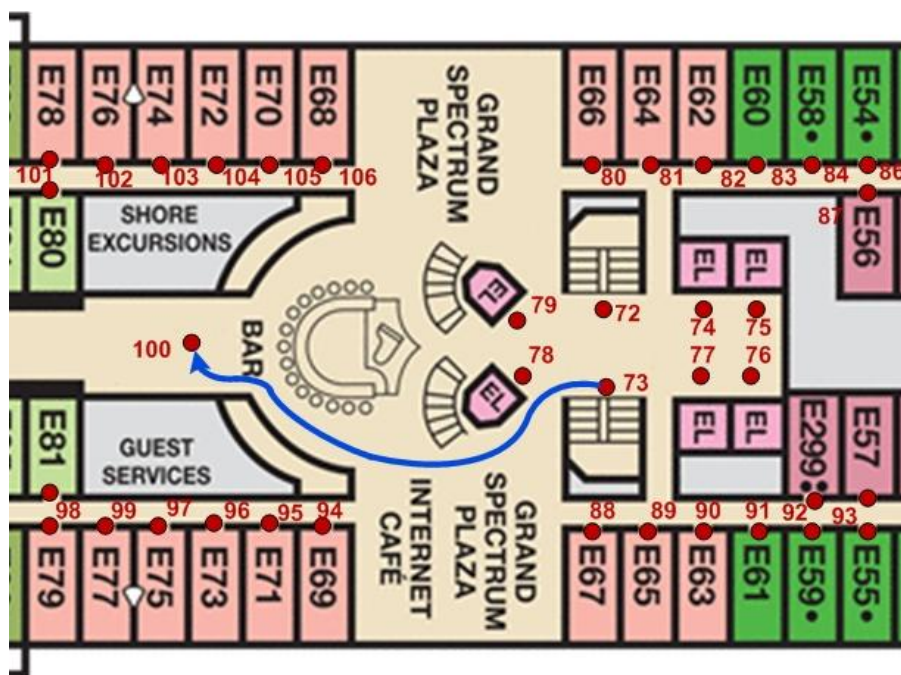
В ходе тестирования работы СППР осуществлено определение пути движения персонала с палубы № 7 и пути обратного движения со спасёнными для следующих условий: пожар возник на палубе №2 судна Ecstasy и распространился на палубы №1, 3, 4, 5 (кормовая часть); в каюте R 198 палубы №4 заблокированы пассажиры. СППР определён оптимальный путь спасения людей (рис. 2), заблокированных в каюте, где: 100 – начало движения; 3 – место нахождения людей; 100, 73, 71, 70, 69, 68, 26, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3 – расчётный маршрут движения к людям; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 26, 68, 69, 70, 71, 73, 100 – маршрут спасения людей.

Для определения эффективности работы СППР осуществлено сравнение полученных результатов с решениями руководителей тушения пожара (РТП) в данной ситуации. Установлено: среднее время принятия решения РТП в 1,54 раза превышает время расчета пути СППР (66 с в сравнении с 43 с); ошибочно определен путь РТП в 20 % случаев от общего их количества, СППР определила

путь безошибочно; средняя ошибка в определении длины пути РТП составляет 18,5 %, СППР рассчитала путь точно (67 м в сравнении с 82,2 м).



а)



б)

Рис. 2. Кратчайший путь спасения людей: а) палуба № 4; б) палуба № 7

→ - маршрут спасения со спасаемыми людьми

Fig. 2. The shortest evacuation route for persons: a) the deck №4; б) the deck №7

→ - the evacuation route with the rescued persons

То есть разработанная система для расчета оптимального пути дает возможность поддержать решение капитаном пассажирского судна сложной задачи в области оперативного управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснована актуальность научно-технической задачи выбора пути спасения пассажиров судна в случае возникновения на нем пожара. С использованием теории графов разработана система, позволяющая определять кратчайший путь спасения людей на пассажирском судне Ecstasy. Создана база данных, обеспечивающая их эффективное хранение и использование в процессе функционирования системы. Оценена достоверность результатов поиска оптимального пути спасения. Предложенная система позволяет повысить достоверность решений, принимаемых капитаном судна при оперативном управлении спасением людей в случае возникновения пожара.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Report on shipping accidents in the Baltic Sea area during 2011 / Helsinki Commission. Baltic Marine Environment Protection Commission. – 2011. – P. 31. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.helcom.fi/stc/files/shipping/shipping_accidents_2011.pdf (дата обращения: 19.02.2013).
2. Федотов, Д.Г. Теория и устройство корабля: методическое пособие и контрольные задания для студентов заочного отделения / Д.Г. Федотов. – Северодвинск: Филиал «СЕВМАШВТУЗ» государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», 2008. – 156 с.
3. Carnival Ecstasy Cruises [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.carnival.com/cruise-ships/carnival-ecstasy.aspx>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 19.02.2013).
4. Организация тушения пожара [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sea-library.ru/borba-s-pozharom/221-tuschenie-pozhara.html?showall=1>. – Загл. с экрана (дата обращения: 19.02.2013).
5. Торский, В.Г. Конвенция СОЛАС-74: краткий обзор: учеб.-практ. пособие для плавсостава / В.Г. Торский, В.П. Топалов. – 2-е изд., доп. – Одесса: Астропринт, 2009. – 95 с.
6. Березницкий, В.В. Исследование и разработка алгоритма нахождения алгоритма кратчайшего пути на графе / В.В. Березницкий, Н.В. Лукьянова // Молодежный технический вестник [Электронный журнал]. – ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н. Баумана». – 2012. – №3. – С.6.
7. Кипер, А.В. Разработка системы поддержки принятия решений руководителя тушения пожара на базе нечеткой нейронной сети ANFIS при пожаре на территории морского порта / А.В. Кипер, Т.С. Станкевич // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – №1. – С. 38-46.
8. Иглин, С.П. Теория графов [Электронный ресурс] / С.П. Иглин. – Режим доступа: <http://iglin.exponenta.ru/gr.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 19.02.2013).

THE SYSTEM FOR THE DETERMINATION OF THE SHORTEST EVACUATION ROUTE OF PASSENGERS SHIP IN DISTRESS

A.V. Kiper, T.S. Stankevich

The basic aspects of the decision support system for the determination of the evacuation route of persons from the passenger ship are addressed. The Floyd–Warshall algorithm was used to determine the shortest evacuation route. The data-base, which ensures efficient data storage and use of data in the system, were developed. The reliability of the results of the determination of the optimal evacuation route was implemented.

the shortest route, the evacuation, the graph theory, the Floyd-Warshall algorithm, the passenger ship, the accident