

Т.С. Станкевич

(Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота;
e-mail: nadezdastan39@mail.ru)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ ИЗ ГОРЯЩЕГО ЗДАНИЯ

Разработана система поддержки принятия решения по выбору оптимального пути спасения людей из горящего здания.

Ключевые слова: оптимальный путь, теория графов, алгоритм Флойда-Уоршелла.

T.S. Stankevich

THE DETERMINATION OF THE OPTIMAL ROUTE OF SALVATION THE PEOPLE FROM THE BURNING BUILDING

A system for decision support in selecting the determination of the optimal route of salvation the people from the burning building was developed.

Key words: optimal route, graph theory, Floyd-Warshall algorithm.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 1 апреля 2013 г.

Введение

В соответствии с ГОСТом 12.1.004-91 "Пожарная безопасность. Общие требования", одной из составных частей обеспечения пожарной безопасности жилых, административных, производственных и других зданий является оповещение людей и возникновении пожаров и их эвакуация (спасение) из горящих зданий. Для обеспечения эвакуации людей **руководитель тушения пожара (РТП)** должен определить маршрут движения боевых расчетов по кратчайшему пути к спасаемым и обратно, исходя из условий обеспечения безопасности спасаемых и пожарных.

Решение задачи выбора оптимального маршрута движения является крайне сложным процессом и требует значительного количества времени. Поскольку условия, характеризующие обстановку на пожаре, постоянно изменяются, то соответственно может изменяться и выбранный первоначально маршрут движения. В данных обстоятельствах вероятность принятия РТП неверного решения велика. На основании результатов экспертной оценки, выполненной группой высококвалифицированных специалистов, установлено, что:

– в относительно простых случаях ошибочный выбор РТП пути спасения людей из здания составляет 27 % при среднем времени принятия решения – 46 с;

– в сложных ситуациях, например при спасении людей из нетиповых высотных зданий со сложной системой коридоров и переходов, ошибки РТП возрастают до 46%, а время принятия решения – до 105 с.

Обобщая вышесказанное, можно констатировать, что в условиях неопределенности исходной информации повышение достоверности и своевременности выбора РТП маршрута спасения людей из горящего здания является актуальной научной задачей. Для её решения была разработана и лицензирована компьютерная система выбора пути спасения людей (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610641). Однако решить эту задачу удалось только при наличии надежного прогноза развития пожара.

Для этого разработанная компьютерная система была интегрирована в лицензированную интеллектуальную систему поддержки принятия решений (СППР) на базе гибридных сетей Sugeno и ANFIS (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610686), с высокой достоверностью определяющую при недостатке информации [1] ранг пожара, прогноз динамики распространения огня и теплового излучения как наиболее опасных факторов пожара.

При анализе рационального программно-алгоритмического обеспечения СППР для выбора оптимального пути спасения людей была произведена сравнительная оценка реализации методов теории графов, теории игр и теории катастроф. Результаты оценки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономическая оценка методологической базы

Критерии оценки	Теория графов	Теория игр	Теория катастроф
Универсальность	+	+	+
Наглядность представления знаний	+	+	+
Допустимые временные затраты на построение модели	+	-	-
Допустимая стоимость	+	+	-
Приемлемая точность полученных результатов	+	+	-
Допустимая оперативность	+	+	-
Допустимые временные затраты на сбор входных данных	+	-	-

Представленные в табл. 1 результаты позволяют заключить, что решаемой задаче наилучшим образом соответствует методология теории графов. Её применение позволяет при минимальных временных и материальных затратах получить достаточно точные результаты и визуализировать их.

Разработка алгоритма выбора кратчайшего пути спасения людей

Выбор кратчайшего пути спасения людей представляет собой задачу выбора оптимального маршрута в некоторой сети с предварительно заданной топологией, где под вершинами понимаются узлы развязки сети, а под рёбрами – направления движения пожарных.

Согласно [2], в практике наибольшее применение нашли три алгоритма: алгоритм *Дейкстры (Д)*, алгоритм *Флойда-Уоршелла (ФУ)*, алгоритм *Беллмана-Форда (БФ)*. С целью выбора алгоритма, обеспечивающего наилучшие результаты при решении задачи поиска оптимального пути, проведена их сравнительная оценка, результаты которой приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка целесообразности алгоритмов для выбора оптимального пути

Критерии оценки	Алгоритм Д	Алгоритм ФУ	Алгоритм БФ
Возможность получения маршрутной информации	-	+	-
Простота программной реализации алгоритма	+	+	+
Допустимая оперативность получения результата	+	+	-
Приемлемая точность результатов	+	+	+

Из содержания табл. 2 можно заключить, что для решения поставленной задачи более рационально использовать *алгоритм ФУ*, который позволяет найти не только кратчайший маршрут, но и получить маршрутную информацию сразу для всех узлов сети.

Разработка алгоритма выбора оптимального пути спасения людей

Первостепенной задачей разработки данной системы является синтез алгоритма поиска оптимального пути движения пожарных в горящем здании, расположенном на территории *морского порта (МП)*. В качестве примера рассматривается *Калининградский морской торговый порт (КМТП)*. Оптимальный маршрут спасения характеризуется следующими критериями: минимальным временем движения людей в горящем здании; движением вне зоны, подверженной воздействию огня и теплового излучения.

Для выбора кратчайшего пути движения людей использован алгоритм ФУ. Однако, если определённый кратчайший маршрут спасения людей не будет соответствовать требованиям безопасности, то он корректируется с учётом указанных выше условий.

Для решения этой задачи разработана математическая модель, позволяющая корректировать маршрут спасения с учётом прогноза развития пожара, определяемого лицензированной СППР на базе сетей Sugeno и ANFIS [1]. Блок-схема алгоритма выбора оптимального пути спасения изображена на рис. 1 (представлена последовательность и содержание необходимых для расчёта операций):

1. Ввод исходных данных.
2. Корректировка базы данных с учётом прогноза развития пожара, осуществляемая программой автоматически за короткий промежуток времени (в пределах 0,0001 с).

3. Первый этап выполнения алгоритма ФУ – 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 ФУ ко всем элементам d_{ij} матрицы D_{k-1} . Для этого рассматривается возможность выполнения неравенства (1):

$$d_{ik} + d_{kj} < d_{ij}, (i < > k, j < > k, i < > j), \quad (1)$$

где d_{ik} – длина (вес) ребра (i, k) ;

d_{kj} – длина (вес) ребра (k, j) ;

d_{ij} – длина (вес) ребра (i, j) ;

i, j – вершины графа;

k – количество вершин ориентированного взвешенного графа.

5. В случае выполнения неравенства (1) существует возможность применения треугольного оператора ко всем элементам d_{ij} матрицы D_{k-1} . Тогда создаются две матрицы: матрица D_k и матрица S_k . Матрица D_k реализуется путём замены в матрице D_{k-1} элемента d_{ij} на сумму $d_{ik} + d_{kj}$, а матрица S_k – путём замены в матрице S_{k-1} элемента s_{ij} на k .

6. Следующий этап выполнения алгоритма ФУ – определение по матрицам D_n и S_n кратчайшего пути между узлами i и j после реализации n шагов алгоритма. Для выполнения данной операции соблюдаются 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 (i, j) $s_{ij} = k$, тогда путь $i > k > j$. Если далее длина ребра (i, k) $s_{ik} = k$ и длина (вес) ребра (k, j) $s_{kj} = j$, 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.

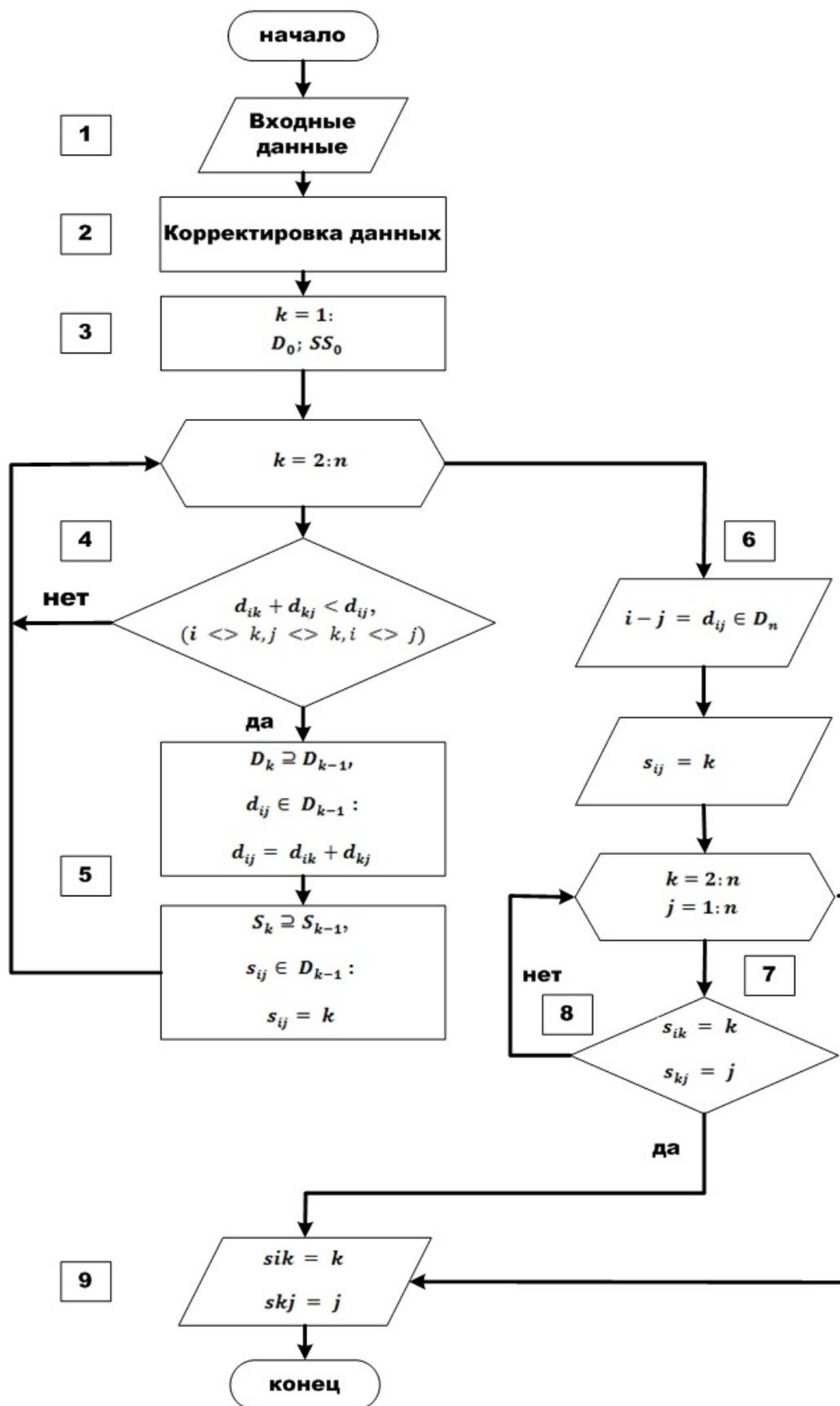


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения пути спасения людей

Алгоритм корректировки базы графов для учёта развития пожара представлен на рис. 2:

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 (2):

$$S \leq s_1, \quad (2)$$

где S – прогнозируемая площадь пожара;

s_1 – площадь комнаты, где находится очаг горения.

2.2. Затем полученные по формуле (2) 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 (2) прогнозируемая площадь пожара S больше площади комнаты s_1 , то необходимо определить все иные помещения, опасные для перемещения по ним людей.

Для этого определяется разница S_{p_1} между этими площадями:

$$S_{p_1} = S - s_1. \quad (3)$$

2.4. Затем полученная разность площадей S_{p_1} сравнивается с площадью смежной комнаты s_{i+1} , в которую, согласно прогнозу, распространится пожар. Сравнение выполняется по формуле (4):

$$S_{p_i} \leq s_{i+1}, \quad (4)$$

где i – количество циклов;

n – количество смежных помещений.

2.5. Если разность площадей, определённых с использованием (4), меньше или равна площади смежной комнаты, то данная комната (комнаты) объявляется опасной. Тогда данная вершина p_i^* удаляется из множества вершин \bar{p} и расчёт считается завершённым.

2.6. Если разность площадей, рассчитанных из (4), больше площади смежной комнаты, то по формуле (5) определяется модуль разницы между данными величинами и цикл повторяется вновь:

$$S_{p_i} = s_{i+1} - S_{p_i}. \quad (5)$$

2.7. Выходные параметры:

\bar{p} – скорректированная база графов;

i – число циклов.

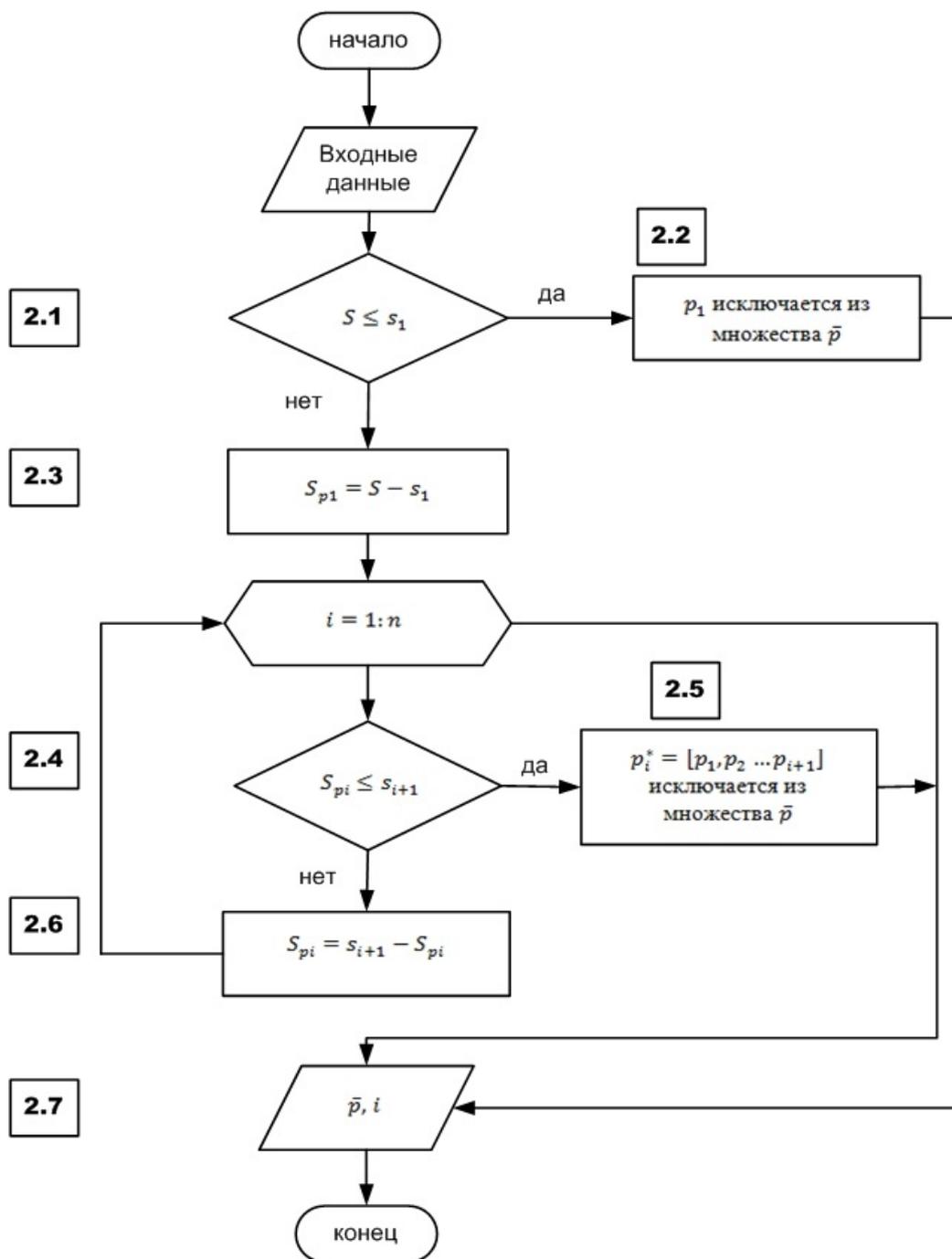


Рис. 2. Блок-схема алгоритма корректировки маршрута

Реализация СППР выбора оптимального пути спасения людей

Моделирование процессов принятия решения РТП выполнено в среде Matlab R2010b с использованием Graph Theory Toolbox [3]. Для реализации СППР выбора оптимального пути спасения из горящего здания на территории КМТП созданы:

- база данных о зданиях КМТП;
- m-функция для выбора пути между каждой парой вершин орграфа с минимальным общим весом дуг на основе алгоритма ФУ [4];
- m-функция для корректировки маршрута;
- интерфейс.

На основании проведённой экспертной оценки, РТП рекомендовано использовать портативный персональный компьютер с установленной интеллектуальной СППР. Запуск программы и введение известных данных РТП предложено выполнять при движении расчёта к месту пожара. После прибытия к горящему объекту руководителю рекомендовано ввести в СППР данные, полученные в ходе разведки. Согласно статистическим данным, время ввода РТП параметров составляет в среднем 27 с. После этого запускается программа, в результате функционирования которой выводится схема оптимального пути и маршрутная информация. На рис. 3 представлен интерфейс пользователя в активном состоянии.

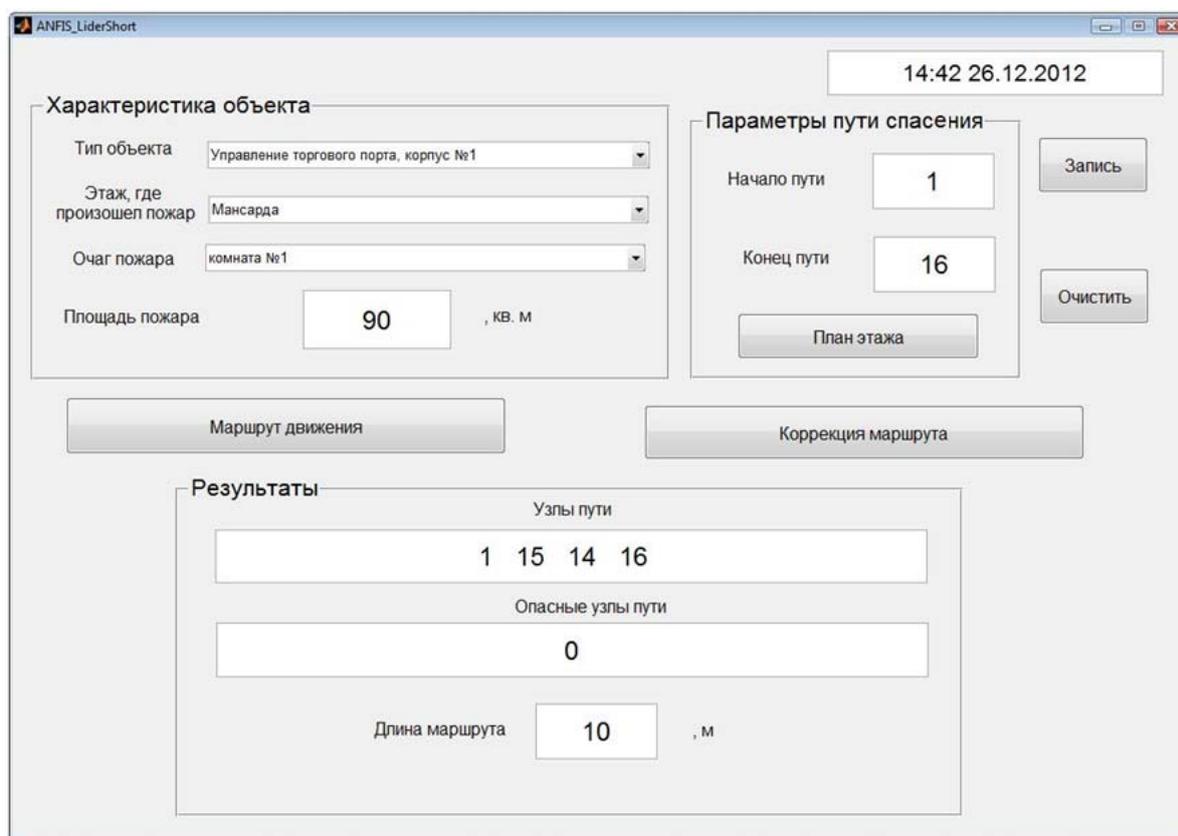


Рис. 3. Интерфейс пользователя в активном состоянии

В ходе тестирования СППР осуществлен выбор пути движения для 47 ситуаций. Установлено, что в данной ситуации:

- ошибочный выбор РТП пути спасения людей составил 20 % при среднем времени принятия решения – 53 с;
- ошибочный выбор СППР пути спасения людей составил 3,7 % при среднем времени принятия управленческого решения (с учётом временных затрат на ввод данных в систему) – 43 с.

Таким образом, компьютерная программа позволяет РТП определять путь движения пожарных при спасении с большей точностью за более короткий промежуток времени, визуализировать полученные результаты и получать всю необходимую информацию из базы данных системы.

В ходе исследования осуществлена попытка сравнения разработанной СППР с аналогичными отечественными и зарубежными разработками. Однако в печати сведений о разработке подобных систем не имеется. То есть разработанная СППР впервые дает возможность поддержать решение РТП такой сложной задачи в области оперативного управления.

Заключение

Обоснована актуальность решаемой задачи и целесообразность использования методов теории графов для выбора пути спасения людей при пожаре. Разработана математическая модель выбора пути, учитывающая динамику развития пожара и позволяющая корректировать маршрут с учётом обеспечения безопасности людей. Создана база данных для использования в процессе функционирования системы. С использованием теории графов разработана СППР, позволяющая выбирать оптимальный путь спасения людей при пожаре на территории КМТП. Оценена достоверность результатов выбора оптимального пути спасения. В известных аналогичных отечественных и зарубежных компьютерных программах решение данной задачи не предусмотрено. Таким образом, предложенная СППР впервые позволяет РТП оперативно принимать достоверные решения, касающиеся спасения людей из горящего здания.

Литература

1. *Кипер А.В., Станкевич Т.С.* Разработка системы поддержки принятия решений руководителя тушения пожара на базе нечеткой нейронной сети ANFIS при пожаре на территории морского порта // Вестн. Астрахан. Гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 1. С. 38-46.
2. *Брезницкий В.В., Лукьянова Н.В.* Исследование и разработка алгоритма нахождения кратчайшего пути на графе // Молодежный технический вестник. № 3. 2012. 6 с. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/458059.html>.
3. *Иглин С.П.* Теория графов. <http://iglin.exponenta.ru/gr.html>
4. *Иглин С.П.* Теория графов. <http://iglin.exponenta.ru/All/grth/grShortPath.html>.