

А.В. Мокишанцев, И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: ntp-tsb@mail.ru)

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОИСКЕ
И ОБНАРУЖЕНИИ ПОСТРАДАВШИХ ПОД ЗАВАЛАМИ,
ОБРАЗУЮЩИМИСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ, АВАРИЙ, ПОЖАРОВ И ВЗРЫВОВ**

Разработаны модели для поддержки принятия управленческих решений при поиске пострадавших под завалами.

Ключевые слова: модели, алгоритмы, поддержка принятия решений, поиск пострадавших под завалами.

A.V. Mokshantsev, I.M. Teterin, N.G. Topolsky

**MODELS, METHODS AND ALGORITHMS OF SUPPORT
OF DECISION-MAKING IN THE SEARCH AND FIND SURVIVORS
UNDER THE RUBBLE, FORMED IN THE RESULT OF EMERGENCY
SITUATIONS, ACCIDENTS, FIRES AND EXPLOSIONS**

Developed models for management decision support in the search for survivors under the rubble.

Key words: models, algorithms, decision support, searching for survivors under the rubble.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 2 сентября 2013 г.

Эффективность проведения работ по поиску и обнаружению пострадавших под завалами в результате ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера в значительной степени определяется оперативностью принятия управленческих решений, а также состоянием технической оснащенности привлекаемых пожарно-спасательных формирований, в том числе пожарных частей, аварийно-спасательных и других подразделений и служб МЧС России.

Различные условия, в которых осуществляется поиск пострадавших под завалами, требуют совершенствования процесса поиска и обнаружения пострадавших под завалами, прежде всего разработки моделей поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами.

Разработка методов поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами является одним из важнейших путей снижения времени их обнаружения, поскольку требуется находить оптимальные варианты принятия управленческих решений, распределять имеющиеся в наличии силы и средства при проведении поисковых работ на завалах, когда возникает риск неправильного определения приоритета потребностей.

Актуальность исследования вызвана необходимостью внедрения современных моделей поддержки принятия управленческих решений, что требует создания концепции системы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами.

Принятие управленческих решений является одним из важнейших аспектов управления по осуществлению поиска и обнаружения пострадавших при ЧС.

Правильная оценка обстановки, складывающейся на завалах разрушенного здания при ЧС, возможные осложнения и последствия при управлении силами и средствами для поиска пострадавших, находящихся под завалами – наиболее важные задачи, которые требуют применения современных технологий для их решения.

Исследование посвящено разработке моделей для поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами, а также созданию концепции системы поддержки принятия управленческих решений по поиску и обнаружению пострадавших под завалами с целью снижения времени обнаружения, а, следовательно, и снижения гибели пострадавших под завалами.

Успешное управление имеющимися в наличии силами и средствами при проведении поисковых работ на завалах невозможно без сочетания различных способов поиска. Поэтому в статье предлагается создание моделей поддержки принятия управленческих решений при использовании различных способов поиска (сплошного визуального обследования; по свидетельствам очевидцев; звукового; кинологического; с использованием специальных приборов).

Исследование способов поиска и обнаружения пострадавших под завалами, используемых при проведении поисковых работ, показало, что необходимым условием при обнаружении пострадавших под завалами является использование эффективных управленческих решений. Перспективным направлением развития при проведении поиска и обнаружения пострадавших, находящихся под завалами, является применение программно-аппаратного комплекса поиска и обнаружения пострадавших под завалами на основе сверхширокополосных портативных радаров.

Проведен системный анализ процесса поиска и обнаружения пострадавших под завалами (рис. 1), в результате которого выявлены факторы, оказывающие влияние на процесс поиска и обнаружения пострадавших под завалами.

Анализ процесса поиска и обнаружения пострадавших под завалами при ЧС и взрывах показал, что необходима разработка системы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами, позволяющая решать ряд новых и важных задач: определять оптимальный маршрут обследования спасателями завалов, определять оптимальное количество поисковых групп, разработать методику поиска и обнаружения пострадавших под завалами, определять вероятность обнаружения пострадавших под завалами и др.

Разработан и исследован ряд математических моделей и алгоритмов, предназначенных для использования в составе автоматизированной системы поддержки принятия решений, применяемых при поиске и обнаружении пострадавших под завалами.

Одной из важнейших управленческих задач является организация последовательности действий спасателей при перемещении от одного объекта к другому при выполнении спасательных работ. Для решения этой задачи разработаны графовая модель определения оптимального маршрута обследования завалов спасателями [7].

Для формирования оптимального маршрута обследования n завалов (участков завала) необходимо выбрать один лучший из $(n - 1)!$ вариантов по критерию времени или длины маршрута.

Предложена графовая модель определения оптимального пути обследования завалов спасателями, включающая в себя два метода: а) метод ветвей и границ; б) венгерский метод.

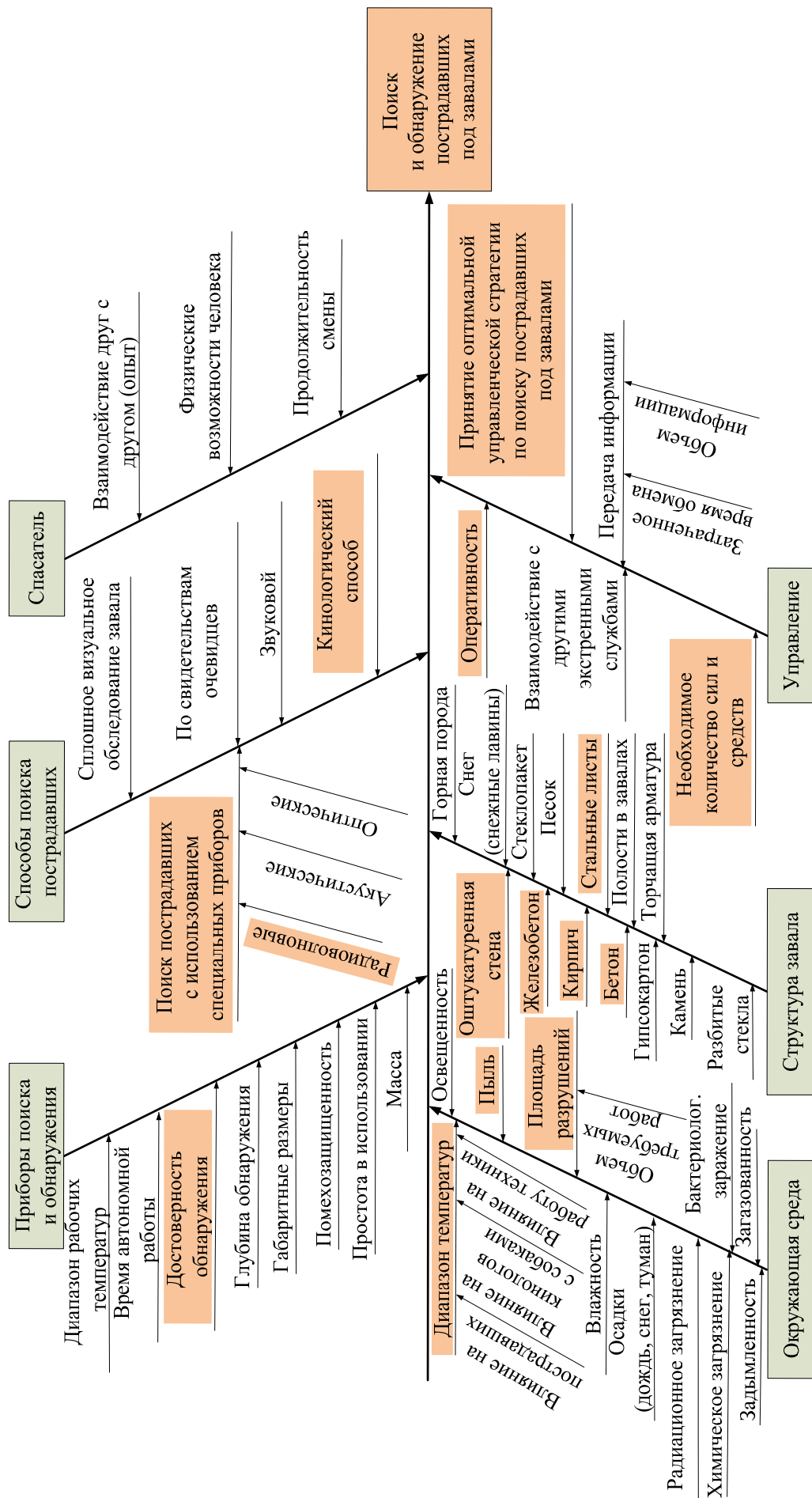


Рис. 1. Диаграмма системного анализа процесса поиска и обнаружения пострадавших под завалами

Работа алгоритма показана на конкретном примере. Пусть одной группе спасателей необходимо произвести поиск пострадавших на n завалах, причём расстояния между завалами заданы ориентированным графом с взвешенными дугами:

$$G = (X, Y); \quad X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}; \quad Y = \{y_{ij}\}; \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\},$$

где X – множество вершин (завалов);

Y – множество дуг (отрезков маршрута y_{ij} спасателей от i завала к j завалу);

$p(y_{ij})$ – вес дуги y_{ij} графа G (время или расстояние прохождения маршрута y_{ij}).

Пример конкретного графа G для поиска пострадавших на шести завалах ($n = 6$) представлен на рис. 2.

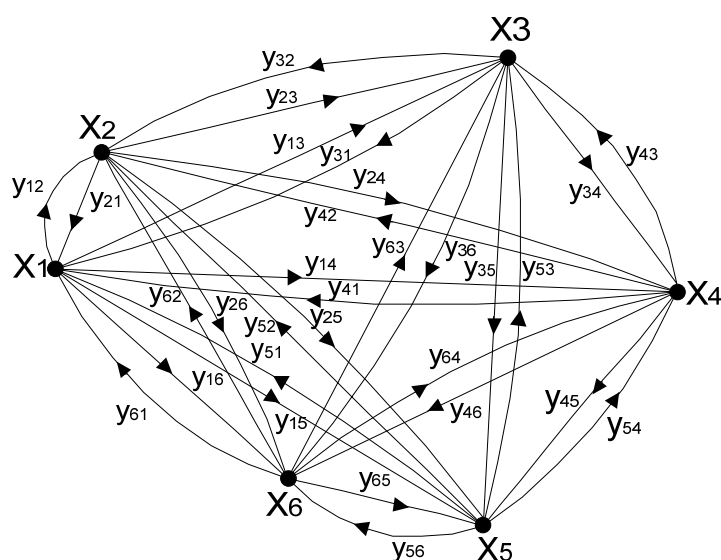


Рис. 2. Пример графа $G = (X, Y)$

Пусть для данного графа G заданы следующие веса рёбер: $p_{12} = 10$; $p_{13} = 12$; $p_{14} = 9$; $p_{15} = 19$; $p_{16} = 13$; $p_{21} = 7$; $p_{23} = 8$; $p_{24} = 2$; $p_{25} = 26$; $p_{26} = 5$; $p_{32} = 21$; $p_{31} = 13$; $p_{34} = 17$; $p_{35} = 4$; $p_{36} = 2$; $p_{41} = 3$; $p_{42} = 18$; $p_{43} = 16$; $p_{45} = 14$; $p_{46} = 12$; $p_{51} = 31$; $p_{52} = 11$; $p_{53} = 23$; $p_{54} = 18$; $p_{56} = 6$; $p_{61} = 4$; $p_{62} = 30$; $p_{63} = 7$; $p_{64} = 9$; $p_{65} = 8$.

Выберем в качестве маршрута для графа G произвольный маршрут:

$$Y_0 = \langle y_{12}, y_{23}, y_{34}, y_{45}, y_{56}, y_{61} \rangle.$$

В этом случае суммарный вес маршрута будет равен суммарному весу дуг маршрута Y_0 :

$$L(Y_0) = p_{12} + p_{23} + p_{34} + p_{45} + p_{56} + p_{61} = 10 + 8 + 17 + 14 + 6 + 4 = 59.$$

Используя метод ветвей и границ, находим маршрут Y_1^* обследования шести завалов с минимальным суммарным весом $L(Y_1^*)$:

$$Y_1^* = \langle y_{41}, y_{13}, y_{36}, y_{65}, y_{52}, y_{24} \rangle.$$

$$L(Y_1^*) = p_{41} + p_{13} + p_{36} + p_{65} + p_{52} + p_{24} = 3 + 12 + 2 + 8 + 11 + 2 = 38.$$

Маршрут перемещения группы спасателей между n завалами, соответствующий Y_1^* , представлен на рис. 3.

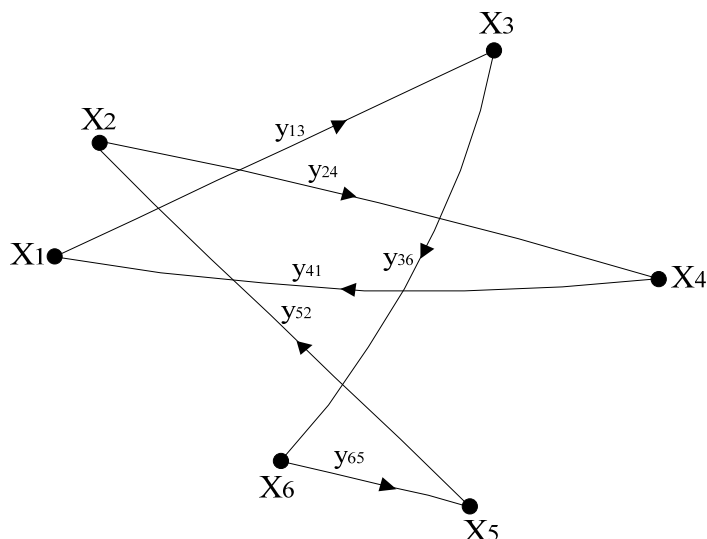


Рис. 3. Последовательность перемещения спасателей между завалами

Таким образом, вес $L(Y_1^*)$ маршрута $L(Y_1^*)$ сократился более чем в 1,5 раза по сравнению с весом $L(Y_0)$ произвольного маршрута $L(Y_0)$.

Применение метода ветвей и границ позволяет определить оптимальный маршрут обследования спасателями завалов, используя только одну группу спасателей.

Показано, что венгерский метод позволяет определить оптимальный маршрут обследования спасателями завалов, используя несколько групп спасателей. В частности при работе двух групп спасателей оптимизация маршрута обследования шести завалов с использованием венгерского метода приводит к нахождению двух оптимальных маршрутов Y_2^* :

$$Y_2^1 = \langle y_{12}, y_{24}, y_{41} \rangle, Y_2^2 = \langle y_{35}, y_{56}, y_{63} \rangle, Y_2^* = \langle y_{12}, y_{24}, y_{35}, y_{41}, y_{56}, y_{63} \rangle.$$

$$L(Y_2^1) = p_{12} + p_{24} + p_{41} = 10 + 2 + 3 = 15, L(Y_2^2) = p_{35} + p_{56} + p_{63} = 4 + 6 + 7 = 17,$$

$$L(Y_2^*) = L(Y_2^1) + L(Y_2^2) = 15 + 17 = 32.$$

В этом случае последовательность перемещения двух групп спасателей между n завалами представлена на рис. 4.

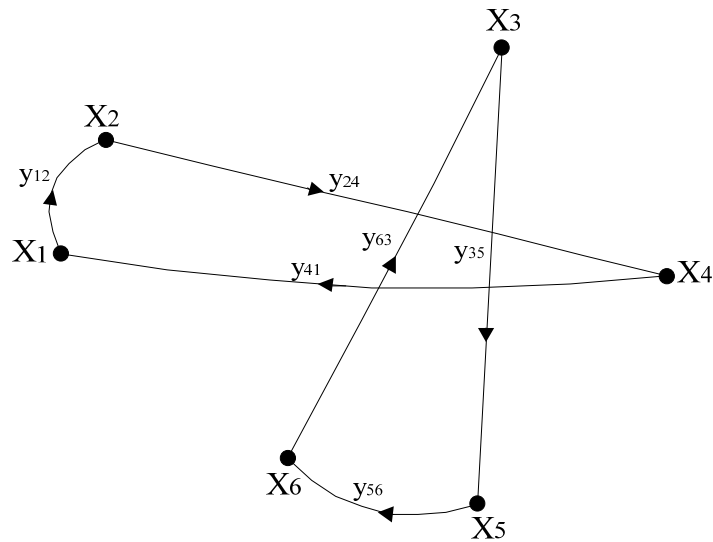


Рис. 4. Последовательность перемещения двух групп спасателей между завалами

Таким образом, суммарный вес двух маршрутов $L(Y_2^*)$ сократился более чем в 1,8 раза по сравнению с произвольным маршрутом $L(Y_0) = 59$.

Разработана блок-схема алгоритма определения оптимального маршрута обследования завалов спасателями, которая представлена на рис. 5 [3].



Рис. 5. Блок-схема алгоритма определения оптимального маршрута обследования завалов спасателями

Модель определения оптимального маршрута обследования завалов спасателями позволяет определять последовательность перемещения спасателей между завалами, минимальную длину прохождения маршрута.

Разработана модель определения оптимального количества групп спасателей для поиска и обнаружения максимального числа пострадавших под завалами (рис. 6) [8].

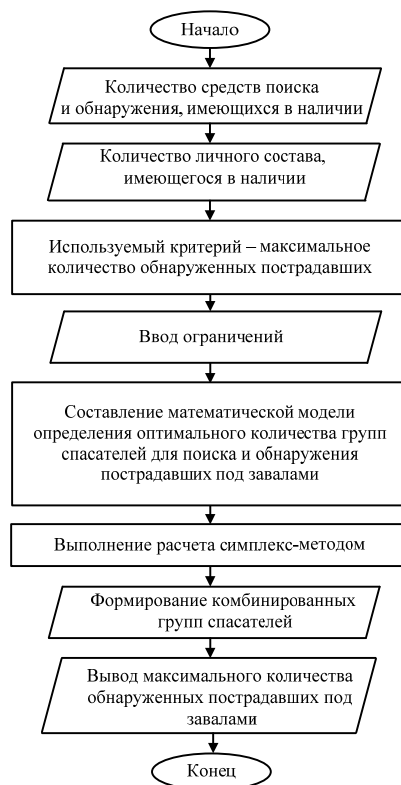


Рис. 6. Блок-схема алгоритма определения оптимального количества групп спасателей для поиска и обнаружения пострадавших под завалами

Использование данной модели для определения оптимального количества поисковых групп рассмотрим на примере, в котором необходимо найти оптимальное количество поисковых групп A , B , B при использовании средств поиска и обнаружения, в которые входят специальные приборы: акустические, радиоволновые, оптические и кинологический способ (собаки).

Пусть количество единиц средств поиска и обнаружения, входящих в поисковую группу, равно для A – 5, для B – 2, для B – 4. Общее количество средств (приборов: акустических, радиоволновых, оптических; собак), имеющихся в наличии – 2000 единиц. Количество личного состава, необходимого для формирования одной поисковой группы: для A – 4 человека, для B – 5 человек, для B – 4 человека. Общее предельное количество личного состава для всех групп – 1000 человек. Пусть предельное количество обнаруженных пострадавших равно для группы A – 10 пострадавших, B – 8 пострадавших, – 12 пострадавших. Пусть задан критерий оптимизации – максимальное количество обнаруженных пострадавших под завалами. Пусть в поисковую группу A должно входить не менее 100 единиц средств поиска и лич-

ного состава. Пусть в поисковую группу B должно входить не менее 50 единиц средств поиска и личного состава. Для группы B ограничений не имеется.

Пусть x_1, x_2, x_3 – количество комбинированных спасательных (поисковых) групп A, B, B , соответственно. Тогда математическая модель для определения оптимального количества поисковых групп имеет вид:

$$F = 10 \times x_1 + 8 \times x_2 + 12 \times x_3 \rightarrow \max.$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 2x_2 + 4x_3 \leq 2000 \\ 4x_1 + 5x_2 + 4x_3 \leq 1000 \\ x_1 \geq 100 \\ x_2 \geq 50 \\ r_1, r_2, r_3 \geq 0. \end{cases}$$

Для решения задачи определения оптимального количества поисковых групп по данной математической модели воспользуемся симплекс-методом.

Вводим дополнительные переменные $x_4 \geq 0, x_5 \geq 0, x_6 = 0, x_7 \geq 0$ для того, чтобы неравенства преобразовать в равенства.

$$\begin{cases} 5x_1 + 2x_2 + 4x_3 + x_4 = 2000 \\ 4x_1 + 5x_2 + 4x_3 + x_5 = 1000 \\ x_1 - x_6 = 100 \\ x_2 - x_7 = 50. \end{cases}$$

Чтобы выбрать начальный базис, вводим искусственные переменные $x_8 \geq 0, x_9 \geq 0$ и очень большое число $M (M \rightarrow \infty)$.

$$F = 10 \times x_1 + 8 \times x_2 + 12 \times x_3 + 0 \times x_4 + 0 \times x_5 + 0 \times x_6 + 0 \times x_7 - M \times x_8 - M \times x_9 \rightarrow \max.$$

$$\begin{cases} 5x_1 + 2x_2 + 4x_3 + x_4 = 2000 \\ 4x_1 + 5x_2 + 4x_3 + x_5 \leq 1000 \\ x_1 - x_6 + x_8 = 100 \\ x_2 - x_7 + x_9 = 50 \\ r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9 \geq 0. \end{cases}$$

В качестве базиса возьмём:

$$x_4 = 2000; x_5 = 1000; x_8 = 100; x_9 = 50.$$

Определяем целевую функцию:

$$F = \sum_{i=1}^4 C_i \times b_i.$$

Вычисляем оценки по формуле:

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^4 C_i \times a_{ij} - C_j.$$

Оптимальное количество поисковых групп для поиска и обнаружения пострадавших под завалами должно соответствовать условию:

$$\Delta_j \geq 0.$$

Если отрицательные оценки отсутствуют, то оптимальное количество поисковых групп для поиска и обнаружения пострадавших под завалами определяется следующими величинами, найденными в результате решения задачи симплекс-методом по данному алгоритму $x_1 = 100$; $x_2 = 50$; $x_3 = 175/2 = 87,5 \approx 88$; $x_4 = 1050$; $x_5 = 0$; $x_6 = 0$; $x_7 = 0$; $F_{\max} = 2450$.

Таким образом необходимо иметь в наличии $x_1 = 100$ единиц средств поиска и обнаружения пострадавших под завалами для формирования поисковой группы *A*, $x_2 = 50$ единиц средств поиска и обнаружения пострадавших под завалами для формирования поисковой группы *B* и $x_3 = 88$ единиц средств поиска и обнаружения пострадавших под завалами для формирования поисковой группы *B*. Максимальное количество обнаруженных пострадавших под завалами при этом составит $F_{\max} = 2450$ человек.

Использование эффективных современных технологий поиска пострадавших под завалами определяет особенности применения сил и средств, участвующих в поисково-спасательных работах.

Выбор способа обследования завала зависит от таких основных факторов, как окружающая среда; структура завала; состояния пострадавших.

На основе проведенного системного анализа процесса поиска и обнаружения пострадавших под завалами разработана модель для определения способов поиска и обнаружения пострадавших под завалами.

На основе этой модели разработана блок-схема алгоритма определения комбинированного способа обследования участков завала (рис. 7).

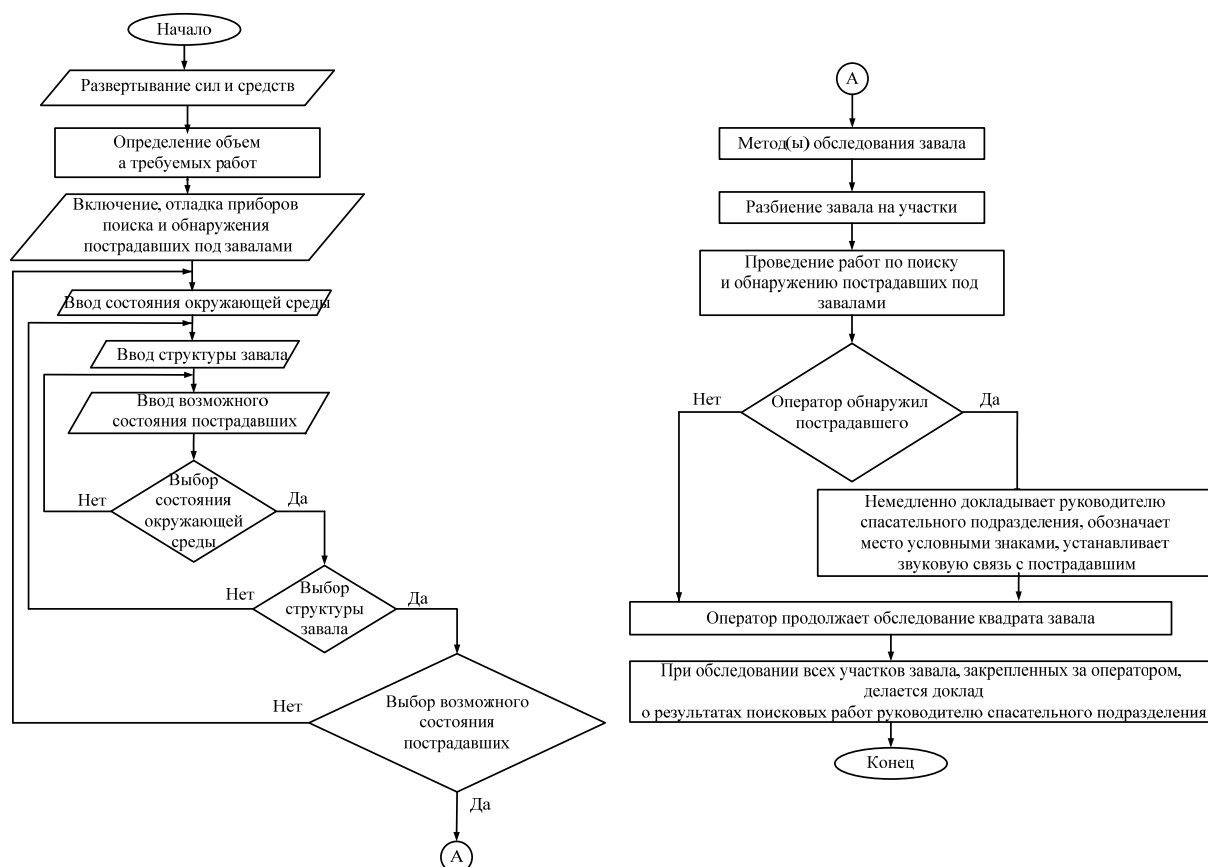


Рис. 7. Блок-схема комбинированного алгоритма поиска и обнаружения пострадавших под завалами

Разработана теоретико-игровая модель поддержки принятия управленческого решения при оптимизации распределения спасателей по участкам завала разрушенного здания, которая включает в себя ряд критериев оптимизации [6, 10].

Критерий максимакса. Критерий максимакса ориентирован на самые благоприятные состояния природы, этот критерий выражает оптимистическую оценку ситуации. Критерий максимакса рассчитывается по формуле:

$$W = \max(a_{ij}).$$

При этом выбираем максимальный элемент $\max(a_{ij})$. В соответствии с выбранным элементом следует выбор оптимальной стратегии W .

Критерий Байеса. По критерию Байеса за оптимальную стратегию принимается та чистая стратегия A_i , при которой максимизируется средний выигрыш или минимизируется средний риск r . Критерий Байеса рассчитывается по формуле:

$$W = \max(\sum(a_{ij} \times p_j)).$$

При этом выбираем максимальный элемент $\max(a_{ij})$. В соответствии с выбранным элементом следует выбор оптимальной стратегии W .

Критерий Лапласа. При неизвестных вероятностях состояний "природы" принимается, что все они равновероятны, то есть:

$$W_j = \frac{1}{n}, j = 1, \dots, n.$$

Выбор решения определяется критерием Лапласа, при котором лицо, принимающее решение, выбирает ту стратегию A_i , при которой

$$W = \max_{1 \leq i \leq m} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \right).$$

Критерий Вальда. По критерию Вальда за оптимальную принимается та стратегия, которая в наихудших условиях гарантирует максимальный выигрыш, то есть:

$$W = \max_i \min_j a_{ij}.$$

Критерий Вальда ориентирует на самые неблагоприятные состояния природы, то есть этот критерий выражает пессимистическую оценку сложившейся ситуации.

Критерий Севиджа. Критерий минимального риска Севиджа рекомендует выбирать в качестве оптимальной стратегии ту, при которой величина максимального риска минимизируется в наихудших условиях, то есть обеспечивается:

$$W = \min(\max \times r_{ij}).$$

Критерий Севиджа ориентирует на самые неблагоприятные состояния природы, т. е. этот критерий выражает пессимистическую оценку ситуации. Находим матрицу рисков. Риск – мера несоответствия между разными возможными (результатами) принятия определенных стратегий. Максимальный выигрыш в j -м столбце $b_j = \max(a_{ij})$ характеризует благоприятность состояния природы.

Критерий Гурвица. Критерий Гурвица является критерием пессимизма – оптимизма. За оптимальную принимается та стратегия, для которой выполняется соотношение:

$$W = \max_{1 \leq i \leq m} (\alpha \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (1 - \alpha) \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij}).$$

При $\alpha = 1$ получим критерий Вальда, при $\alpha = 0$ получим оптимистический критерий (максимакс).

Критерий Гурвица учитывает возможность как наихудшего, так и наилучшего для человека поведения природы. Чем хуже последствия ошибочных решений, тем больше желание застраховаться от ошибок, тем α ближе к 1.

Критерий Ходжа-Лемана. Для каждой строки рассчитываем значение критерия Ходжа-Лемана по формуле:

$$W = \max(u \sum a_{ij} \times p_j + (1 - u) \times \min(a)_{ij}).$$

Выбираем максимальный элемент $\max(a_{ij})$. В соответствии с выбранным элементом следует выбор оптимальной стратегии W .

Разработана блок-схема теоретико-игрового алгоритма принятия управленческого решения при распределении спасателей по участкам завала, которая представлена на рис. 8.



Рис. 8. Блок-схема теоретико-игрового алгоритма принятия управленческого решения при распределении спасателей на завалах

Применение критериев позволяют определить оптимальную стратегию управленческого решения при распределении спасателей по участкам завала [8].

При этом выбираем такую стратегию A_m оптимального управленческого решения, которую наибольшее число раз выдавали критерии. Поэтому, если у лица, принимающего решение, нет никаких обоснованных серьёзных возражений, то в качестве оптимальной можно рассматривать стратегию A_m .

Разработана программа поддержки принятия управленческого решения при распределении спасателей на завале, реализующая теоретико-игровой алгоритм. На программу получено свидетельство Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ [9].

Разработана модель определения вероятности обнаружения пострадавших под завалами, находящихся в бессознательном состоянии. На рис. 9. представлена матрица вероятностей наличия пострадавших под завалом в бессознательном состоянии.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P ₁	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
P ₂	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
P ₃	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●
P ₄	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
P ₅	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
P ₆	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●
P ₇	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●
P ₈	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
P ₉	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
P ₁₀	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●
P ₁₁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
P ₁₂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ - человек находится без сознания
● - человек находится в сознании

Рис. 9. Матрица вероятностей

Работа модели показана на примере. Пусть под завалом разрушенного здания находится 12 пострадавших, из которых 4 пострадавших – без сознания, 8 пострадавших – в сознании. Требуется определить с какой вероятностью P будет 2 пострадавших без сознания из 6 обнаруженных пострадавших.

Построено дерево исходов при обнаружении двух пострадавших без сознания (рис. 10).

По дереву исходов получено 57 возможных исходов последовательностей обнаружения пострадавших. С вероятностью $P=0,546$ будет обнаружено 2 пострадавших без сознания из 6 пострадавших.

Разработана блок-схема алгоритма поиска и обнаружения пострадавших под завалами с применением специальных приборов (рис. 11).

Разработана структура системы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами с использованием программно-аппаратного комплекса на основе сверхширокополосного радара для поиска и обнаружения пострадавших под завалами (рис. 12).

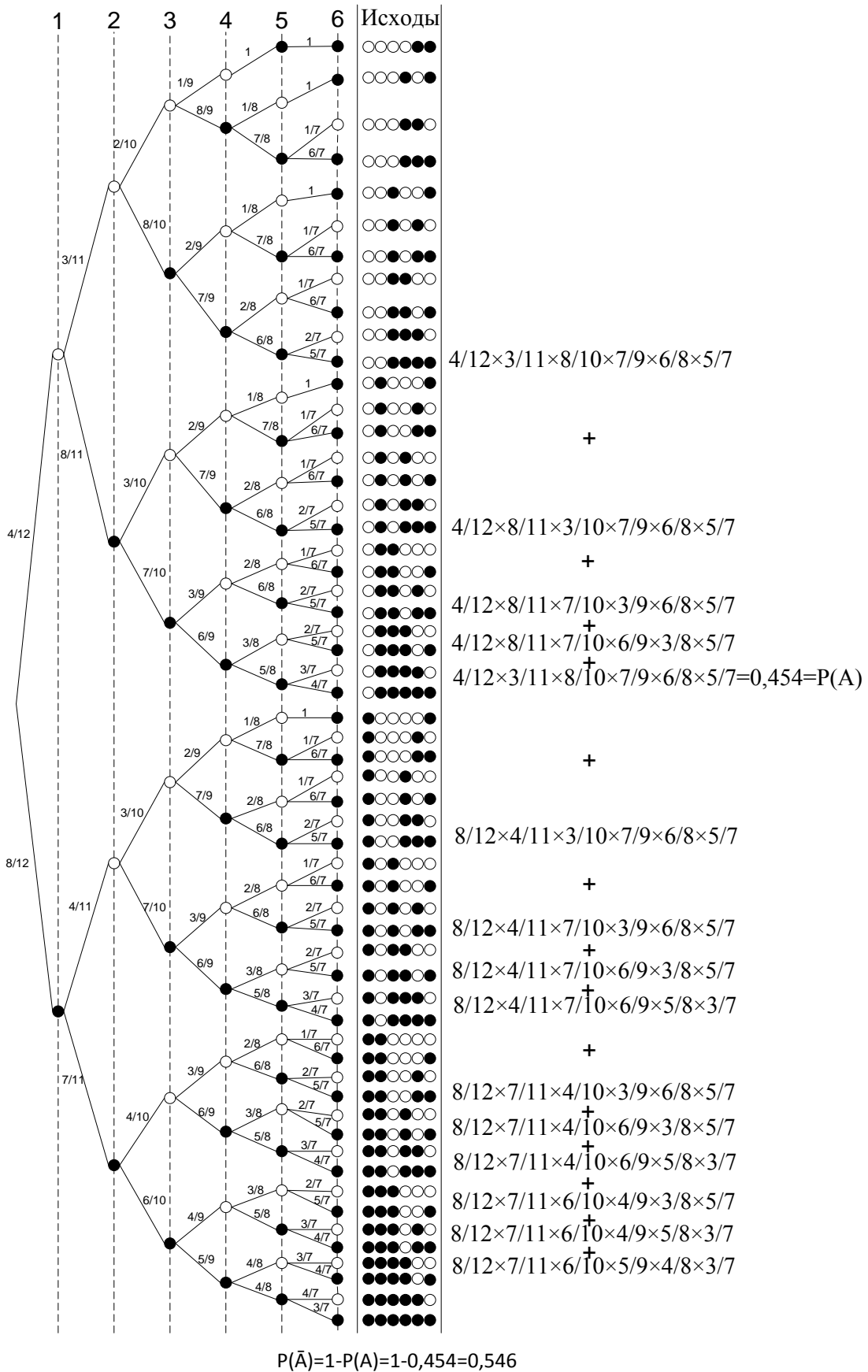


Рис. 10. Дерево исходов при обнаружении 2 пострадавших без сознания

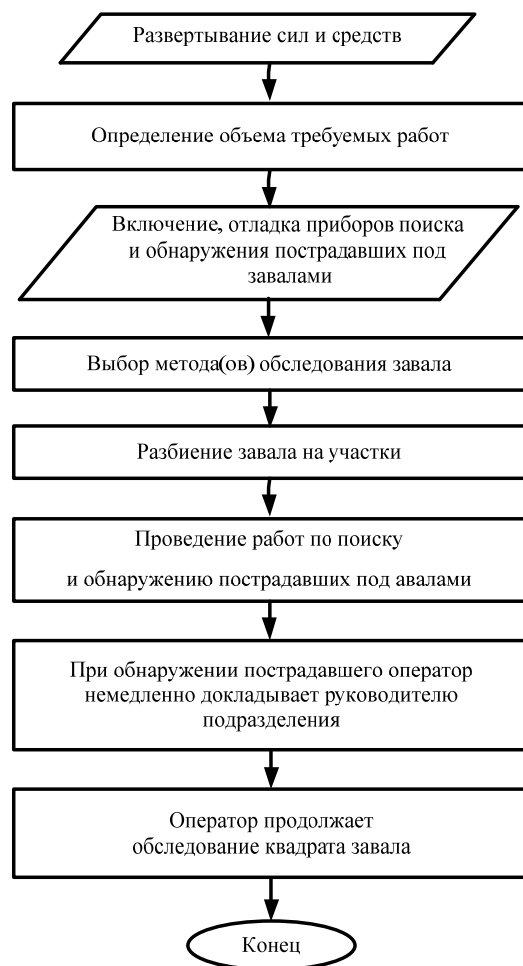


Рис. 11. Блок-схема алгоритма поиска и обнаружения пострадавших под завалами с применением специальных приборов

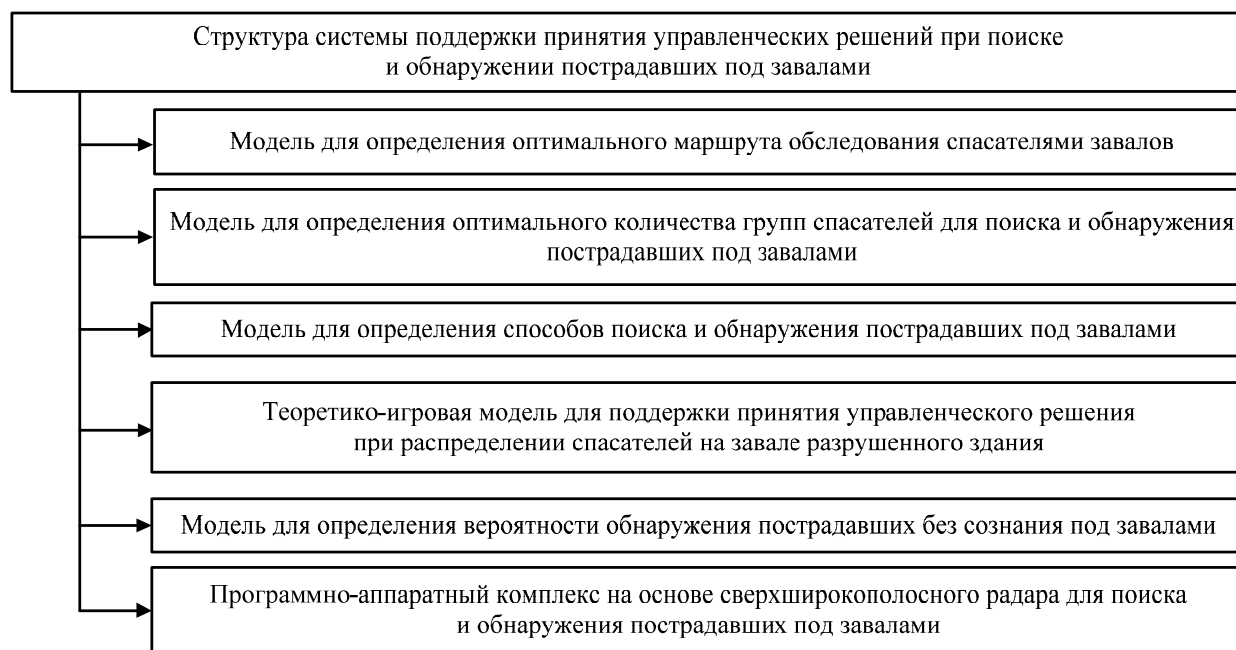


Рис. 12. Структура системы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами

Предполагается, что разработанная структура системы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами входит в состав автоматизированной информационно-управляющей системы планирования мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

С целью практической реализации предлагаемых управленческих решений по поиску пострадавших под завалами разработаны методические рекомендации по применению автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами [4, 5].

Проведены полевые испытания программно-аппаратного комплекса на основе сверхширокополосного радара [1, 2], входящего в структуру автоматизированной системы поддержки принятия решений по поиску и обнаружению пострадавших под завалами, на испытательном полигоне МЧС России в г. Ногинске Московской области. При этом получены результаты измерения глубины обнаружения пострадавших под бетонными плитами (рис. 13).

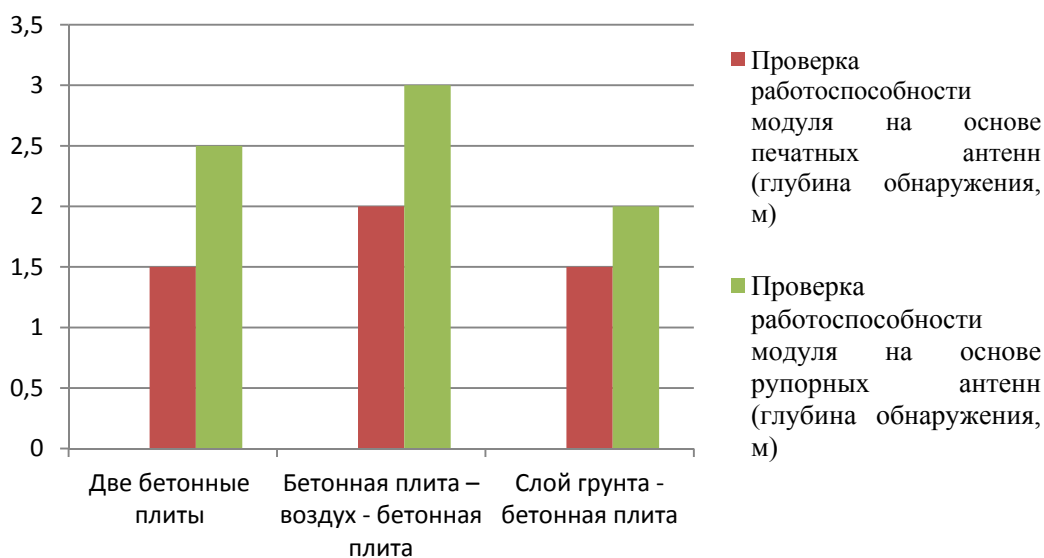


Рис. 13. Результаты измерений на двух участках завала испытательного полигона

Технические характеристики программно-аппаратного комплекса на основе сверхширокополосного радара для поиска и обнаружения пострадавших под завалами представлены в табл. 1 [1, 2].

Таблица 1

Технические характеристики программно-аппаратного комплекса на основе сверхширокополосного радара для поиска и обнаружения пострадавших под завалами

Диапазон дальности действия с возможностью сдвига начала отсчета, м	до 20
Разрешающая способность, см	менее 1
Толщина кирпичной стены, за которой обнаруживается человек, м	не менее 0,8
Стройматериалы, через которые возможна работа	кирпич, бетон, железобетон, камень, оштукатуренная стена, гипсокартон и др.
Сектор обзора	70 градусов в горизонтальной плоскости, 90 градусов в вертикальной плоскости
Габаритные размеры (с планшетом), мм	344×200×260
Масса (с планшетом), кг	3,5
Время автономной работы (с планшетом), ч	не менее 4
Диапазон рабочих температур, °C	-20 ... +50

В результате испытаний программно-аппаратного комплекса для поиска и обнаружения пострадавших под завалами сформулированы выводы:

1. Не выявлено ложных срабатываний ни на одном из двух участков испытательного полигона.

2. Обнаружен пострадавший по его дыханию, шевелению рукой, поворотам корпуса на участке № 1 испытательного полигона:

- под двумя бетонными плитами на глубине 1,5 м с использованием антенного модуля на основе печатных антенн;

- под двумя бетонными плитами на глубине 2,5 м с использованием антенного модуля (рупорных антенн);

- под бетонной плитой – слоем воздуха – бетонной плитой на глубине 2 м с использованием антенного модуля (печатных антенн);

- под бетонной плитой – слоем воздуха – бетонной плитой на глубине 3 м с использованием антенного модуля (рупорных антенн).

3. Обнаружен человек по его дыханию, шевелению рукой, поворотам корпуса на участке № 2 испытательного полигона:

- под слоем грунта – бетонной плитой на глубине 1,5 м с использованием антенного модуля (печатных антенн);

- под слоем грунта – бетонной плитой на глубине 2 м с использованием антенного модуля (рупорных антенн).

В работе решена научная задача по разработке моделей поддержки принятия управленческих решений при поиске пострадавших под завалами.

Основные результаты исследования сводятся к следующему:

1. Проведен системный анализ процесса поиска и обнаружения пострадавших под завалами, образовавшимися в результате чрезвычайных ситуаций, аварий, пожаров и взрывов.

2. Разработана графовая модель для поддержки принятия решений по определению оптимального маршрута обследования завалов спасателями, позволяющая минимизировать время прохождения маршрута.

3. Разработана математическая модель для поддержки принятия решений по определению оптимального количества групп спасателей для поиска и обнаружения пострадавших под завалами, позволяющая формировать состав поисковых групп и их оснащение с целью обнаружения максимального количества пострадавших под завалами.

4. Разработана модель для определения способов поиска и обнаружения пострадавших под завалами, позволяющая принять решение по выбору способа поиска пострадавших в зависимости от структуры завала, окружающей среды и возможного состояния пострадавших.

5. Разработана теоретико-игровая модель для поддержки принятия управленческого решения по распределению спасателей по участкам завала, позволяющая сократить время поиска. Разработана модель для определения вероятности обнаружения пострадавших без сознания под завалами.

6. Разработана структура системы поддержки принятия управленческих решений по поиску и обнаружению пострадавших под завалами, позволяющая определять время прохождения оптимального маршрута, длину маршрута, количество групп спасателей, их оснащенность, способы поиска, распределение спасателей

по участкам завала и определять вероятность обнаружения пострадавших, находящихся в бессознательном состоянии. Составлен и отлажен комплекс машинных программ, реализующих эти модели зарегистрированных Роспатентом. Проведенные испытания подтвердили работоспособность и эффективность моделей, положенных в основу автоматизированной системы поддержки принятия решений по обнаружению и спасению пострадавших под завалами.

7. С целью практической реализации предлагаемых управленческих решений по поиску пострадавших под завалами разработаны методические рекомендации по применению автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами.

Литература

1. **О применении** модуля ближней радиолокации в автоматизированных системах предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций / Симаков В.В., Тетерин И.М., Топольский Н.Г., Мокшанцев А.В. и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 2 (42). 2012. 8 с. <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-2>.

2. **Многофункциональный** портативный радар для изменения толщины льда / Топольский Н.Г., Симаков В.В., Мокшанцев А.В. и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 1 (41). 2012. 5 с. <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-1>.

3. **Алгоритм** оптимизации проверки объектов инспектором надзорной деятельности / Топольский Н.Г., Атюкин А.А., Мокшанцев А.В. и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 1 (47). 2013. 8 с. <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-1>.

4. **Мобильный** радиоэлектронный комплекс для поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях / Симаков В.В., Топольский Н.Г., Мокшанцев А.В. и др. // Матер. 20-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности" – СБ-2011. М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. С. 9-12.

5. Обнаружение пострадавших в завалах с использованием контрольно-индикационного прибора / Симаков В.В., Топольский Н.Г., Мокшанцев А.В. и др. // Матер. 21-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2012". М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. С. 9-11.

6. **Игровая** модель с поиском и обнаружением пострадавших при обрушении строительных конструкций / Топольский Н.Г., Мокшанцев А.В., Нгуен Т.К. // Матер. междунар. науч.-практ. конф. "Пожаротушение: проблемы, технология, инновации". М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. С. 155-157.

7. **Графовая** модель оптимизации обследования объектов при предупреждении и ликвидации чрезвычайных ситуаций / Топольский Н.Г., Атюкин А.А., Мокшанцев А.В. и др. // 21-я междунар. конф. "Проблемы управления безопасностью сложных систем" – 2013.

8. **Расчёт** количества радиолокационных приборов для поиска пострадавших под завалами при чрезвычайных ситуациях / Топольский Н.Г., Симаков В.В., Мокшанцев А.В. и др. // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013615214 от 30 мая 2013 года (Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам).

9. **Автоматизированная** система поддержки принятия управленческих решений при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием платёжной матрицы / Топольский Н.Г., Городецкий Я.И., Мокшанцев А.В. и др. // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013617554 от 20 августа 2013 года (Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам).

10. **Поддержка** принятия решений по поиску пострадавших, эвакуации людей из зданий и организации тушения пожаров на основе теоретико-игровой модели / Тетерин И.М., Топольский Н.Г., Мокшанцев А.В. и др. // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013660875 от 21 ноября 2013 года (Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам).