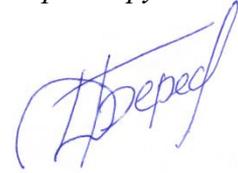


На правах рукописи



Береснев Денис Сергеевич

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ
ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ
ОПЕРАЦИЯМИ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных
и экономических системах (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в учебно-научном комплексе автоматизированных систем и информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Научный руководитель: **Топольский Николай Григорьевич**,
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационных технологий
ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Официальные оппоненты: **Порошин Александр Алексеевич**,
доктор технических наук, старший научный
сотрудник, начальник НИЦ ОУП ПБ ФГБУ
«Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-
исследовательский институт противопожарной
обороны»

Тараканов Денис Вячеславович,
кандидат технических наук, старший
преподаватель кафедры пожарной тактики и
основ АСДНР учебно-научного комплекса
пожаротушения ФГБОУ ВО «Ивановская
пожарно-спасательная академия ГПС МЧС
России»

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт по проблемам
гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций
(федеральный центр науки и высоких технологий)
МЧС России»

Защита состоится «5» июня 2019 года в 14:00 на заседании
диссертационного совета Д 205.002.01 при Академии Государственной
противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва,
ул. Бориса Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии
Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте
<http://academygps.ru/upload/iblock/c57/c577bbe035b0fac19f0e2e59e3185dde.pdf>

Автореферат разослан «10» апреля 2019 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим
направить в Академию Государственной противопожарной службы МЧС
России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Успех поисково-спасательной операции зависит от того, насколько быстро спланирована и проведена операция. Быстрое получение спасательными центрами имеющейся информации необходимо для всесторонней оценки ситуации, скорейшего принятия решения об оптимальном комплексе мер и своевременного приведения в действие средств поиска с целью обнаружения и спасения терпящих бедствие лиц в максимально короткий срок. Опыт показывает, что шансы на выживание лиц, получивших телесные повреждения (растяжения, переломы, раны, ожоги и др.), уменьшаются на 80% в первые 24 часа, а шансы лиц, не получивших телесных повреждений, резко снижаются после первых трех дней. После происшествия даже лица, не получившие телесных повреждений, которые предположительно считаются здоровыми и способными логически мыслить, зачастую не могут справиться с самыми простыми задачами и, как показывает практика, затрудняют, замедляют и даже препятствуют своему спасению. Особенно остро вопрос времени спасения стоит в регионах с суровыми и экстремальными природно-климатическими условиями. Данные регионы занимают 2/3 площади России. В зимний период времени значение среднемесячных температур на этой территории составляет (-30° – -35°C), наблюдаются сильные ветра с порывами до 30-40 м/с, которые значительно снижают шансы на выживание и затрудняют проведение поисково-спасательных операций. В летний период на территории России ситуация осложняется отсутствием дорог, а также низкой плотностью населения на большей части страны. В последнее время идет активная популяризация туризма и отдыха в России, что способствует увеличению числа лиц попавших в чрезвычайное происшествие.

Анализ статистических данных показал, что процент людей, пропавших без вести или погибших при проведении поисково-спасательных операций (ПСО), составляет 20%.

Особенностью работы поисковых групп в природной среде является большая площадь района поиска пострадавших. В настоящее время при проведении поисково-спасательных операций в природной среде не в полной мере используются научные методы и математический аппарат. В существующих методиках проведения поисково-спасательных операций оценка местонахождения объекта поиска осуществляется на основе субъективного мнения руководителя операции, что влечет ошибки в поиске. Отсутствие моделей и алгоритмов информационно-аналитической поддержки управления ПСО приводит к увеличению времени поиска пострадавшего и нерациональному использованию имеющихся сил и средств.

Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью совершенствования существующих методов поиска пострадавших за счет разработки моделей и алгоритмов информационно-аналитической поддержки управления поисково-спасательными операциями.

Степень разработанности. В основе настоящей диссертационной работы лежат результаты научной деятельности отечественных и зарубежных ученых, занимающихся исследованием поисково-спасательных работ: Л.Г. Одинцова, Н.В. Трофимовой, В.О. Коорман, W. Syrotuck, D.C. Cooper, J.R. Frost и др.; в области систем поддержки принятия решений и автоматизированных

информационных систем: Н.Г. Топольского, Ю.В. Пруса, Р.Ш. Хабибулина, Е.А. Мешалкина, А.В. Мокшанцева и др.

Объектом исследования является поддержка управления поиском пострадавших в природной среде.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы поддержки управления при проведении поисково-спасательных операций в природной среде.

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов информационно-аналитической поддержки для совершенствования управления поисково-спасательными операциями в природной среде.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи.

1. Анализ поисково-спасательных операций в природной среде и выявление критериев, влияющих на распределение вероятности местонахождения объекта поиска. Анализ используемых программно-технических средств обеспечения управления поисково-спасательными операциями.

2. Разработка моделей и алгоритмов построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска, определения оптимального распределения сил и средств и маршрутов передислокации сил и средств.

3. Моделирование и экспериментальное исследование поисково-спасательных операций в целях подтверждения адекватности предложенных моделей и алгоритмов.

4. Разработка структурной и функциональной схем информационно-аналитического обеспечения поддержки управления поисково-спасательными операциями.

Новизна научных результатов заключается в следующем.

1. На основе анализа поисково-спасательных операций в природной среде определены основные критерии, влияющие на местонахождение объекта поиска. Проведен анализ систем поддержки управления поисково-спасательными операциями.

2. Разработана модель построения карты вероятности местонахождения объекта поиска в природной среде, использующая полученные критерии, а также расстояние до последнего известного местонахождения объекта поиска.

3. Разработана математическая модель определения оптимального маршрута передислокации сил и средств на основе двухкритериального комплексного показателя для информационно-аналитического обеспечения ЛПР.

4. Обоснованы и разработаны алгоритмы информационно-аналитического обеспечения управления поисково-спасательными операциями, осуществляющие поддержку принятия решений руководителя при планировании и осуществлении поиска – алгоритм работы информационно-аналитического обеспечения поддержки управления поисково-спасательными операциями, алгоритм построения карт вероятностей, алгоритм передислокации сил и средств, алгоритм взаимодействия лица принимающего решения (ЛПР) с системой поддержки управления при проведении поиска в природной среде.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что использование предлагаемых математических моделей и алгоритмов

информационно-аналитического обеспечения управления поисково-спасательными операциями позволяют обеспечить поддержку принятия управленческих решений руководителю поисково-спасательных операций путём построения карт вероятностей местонахождения объекта и определения оптимального распределения имеющихся сил и средств.

Методы исследования. В диссертации использованы методы целевого программирования, теория вероятностей и случайных процессов, теория систем и системного анализа.

На защиту выносятся:

- модели построения карты вероятности местонахождения объекта поиска в природной среде и определения оптимального маршрута передислокации сил и средств;

- алгоритм построения карт вероятностей, алгоритм распределения сил и средств, алгоритм передислокации сил и средств к месту поиска;

- алгоритм работы, структура и схема системы информационно-аналитического обеспечения управления поисково-спасательными операциями;

- результаты моделирования проведения поисково-спасательных операций в природной среде на основе разработанных моделей и алгоритмов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированного математического аппарата, проведением вычислительного эксперимента и удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на международных научно-технических конференциях «Системы безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2013 – 2017 гг.), научно-практических конференциях молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2014 – 2018 гг.), VI международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы перспективы» (Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014 г.), на научно-технических семинарах учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (2013 – 2019 гг.) и др.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 6 работ опубликовано в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России, 4 работы опубликованы в единоличном авторстве, получено 4 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, состоит в следующем: в работах [1-3], [13] автору принадлежит анализ поисково-спасательных операций, модель и алгоритм передислокации сил и средств; в работах [4-5], [11], [16] – модель и алгоритм построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска; в работах [8-9] – алгоритм распределения сил и средств при проведении поисково-спасательных работ; в работах [10], [12], [15] – концепция комплексного подхода при проведении поисково-спасательных работ.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы внедрены:

- в научно-технической компании ООО «Научно-логистический центр», связанные с научно-методическим обоснованием и разработкой поддержки

принятия управленческих решений при проведении поисково-спасательных операций в Арктической зоне;

– в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при выполнении научно-исследовательских работ и в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам «Информационные технологии управления», «Информационно-аналитические технологии государственного и муниципального управления», «Информационные технологии в сфере безопасности», «Информационные технологии управления в РСЧС»;

– в научно-технической компании ООО «ГлобалКонтроль», связанные с научно-методическим обоснованием и разработкой модели построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска в научной деятельности общества с ограниченной ответственностью «ГлобалКонтроль», а также при производстве комплексов связи и управления.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объём диссертации 135 страниц. Работа иллюстрирована 44 рисунками и 16 таблицами. Библиографический список включает 97 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, определены объект и предмет исследования, поставлены цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе "Анализ проведения поисково-спасательных операций в природной среде" проведен анализ статистических данных результатов поисково-спасательных подразделений, по результатам которого установлено, что соотношение числа спасённых и числа погибших имеет стабильно установившееся значение - 80% и 20% соответственно (рис. 1).

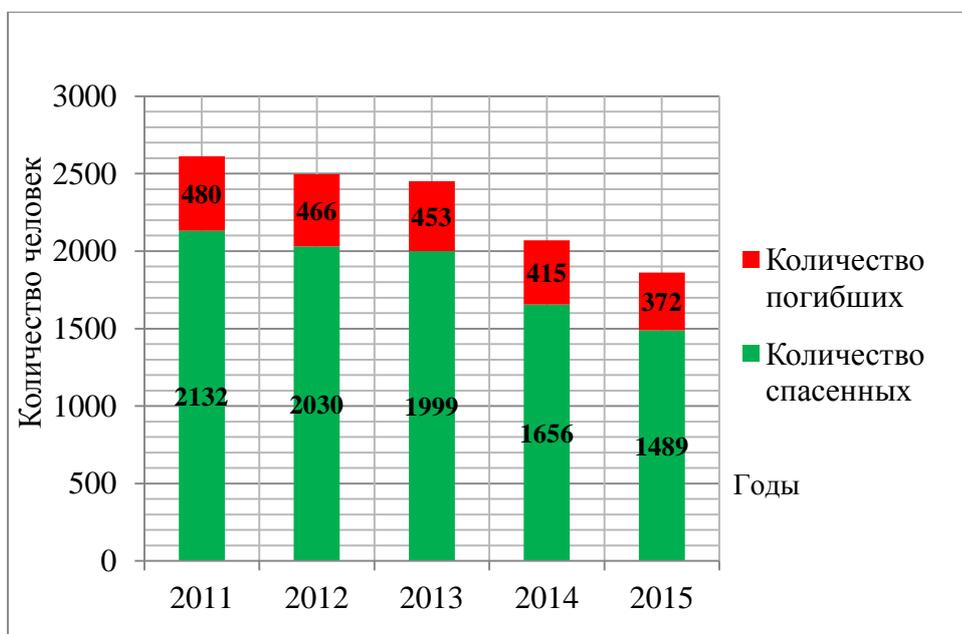


Рисунок 1 – Гистограмма распределения количества погибших и спасенных по годам

Анализ применяемых методов поиска в России показал, что зачастую имеющихся сил и средств недостаточно для полного обследования района, что ведет к увеличению времени поиска и числа погибших. Данный факт выводит

проблему подготовки научно обоснованных управленческих решений по распределению сил и средств на лидирующую позицию.

В ходе анализа существующих систем поддержки управления поисково-спасательными операциями установлено, что они либо не направлены на обеспечение управления ПСО в природной среде, либо они не выполняют аналитические функции. В них не производится объективная оценка вероятностей местонахождения объекта поиска, что ведет к увеличению затрат на проведение поиска и времени.

Проведен анализ соотношения количества спасенных людей и мест обнаружения. Результаты позволили определить первичные критерии, влияющие на местонахождение объекта поиска (табл.1).

Таблица 1 – Первичные критерии, влияющие на местонахождение объекта поиска

№ п/п	Обозначение критериев	Наименование критерия
1	O_1	Кромка воды (территория в непосредственной близости от воды)
2	O_2	Сооружения, предназначенные для временного проживания (охотничьи домики, лесничества и т.д.)
3	O_3	Технические сооружения (ЛЭП, телефонные вышки и т.д.)
4	O_4	Дорога (автомобильные, ж/д, лесные тропы и т.д.)
5	O_5	Приграничная территория лесной зоны
6	O_6	Открытая площадка (поляны, проталины и т.д.)
7	O_7	Лесной массив

В результате проведенного анализа поставлены основные задачи, которые необходимо решить для достижения цели исследования.

Во второй главе "Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при планировании и проведении поисково-спасательных работ" разработаны модель и алгоритмы построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска при проведении поисково-спасательных операций в природной среде.

Разработан алгоритм определения степени влияния критериев O_i , $i \in \{1, 2, \dots, 7\}$ на распределение вероятности местонахождения объекта поиска (рис. 2).

Весовые коэффициенты c_i критериев определяются как соотношение количества найденных людей к общему количеству поисково-спасательных операций в природной среде

$$c_i = \frac{n_i}{N}, \quad (1)$$

где n_i – количество обнаруженных людей по i -му критерию;

N – общее количество поисковых операций на определенной территории.

В целях определения весового коэффициента c_i разработана база данных (БД) ПСО в природной среде.

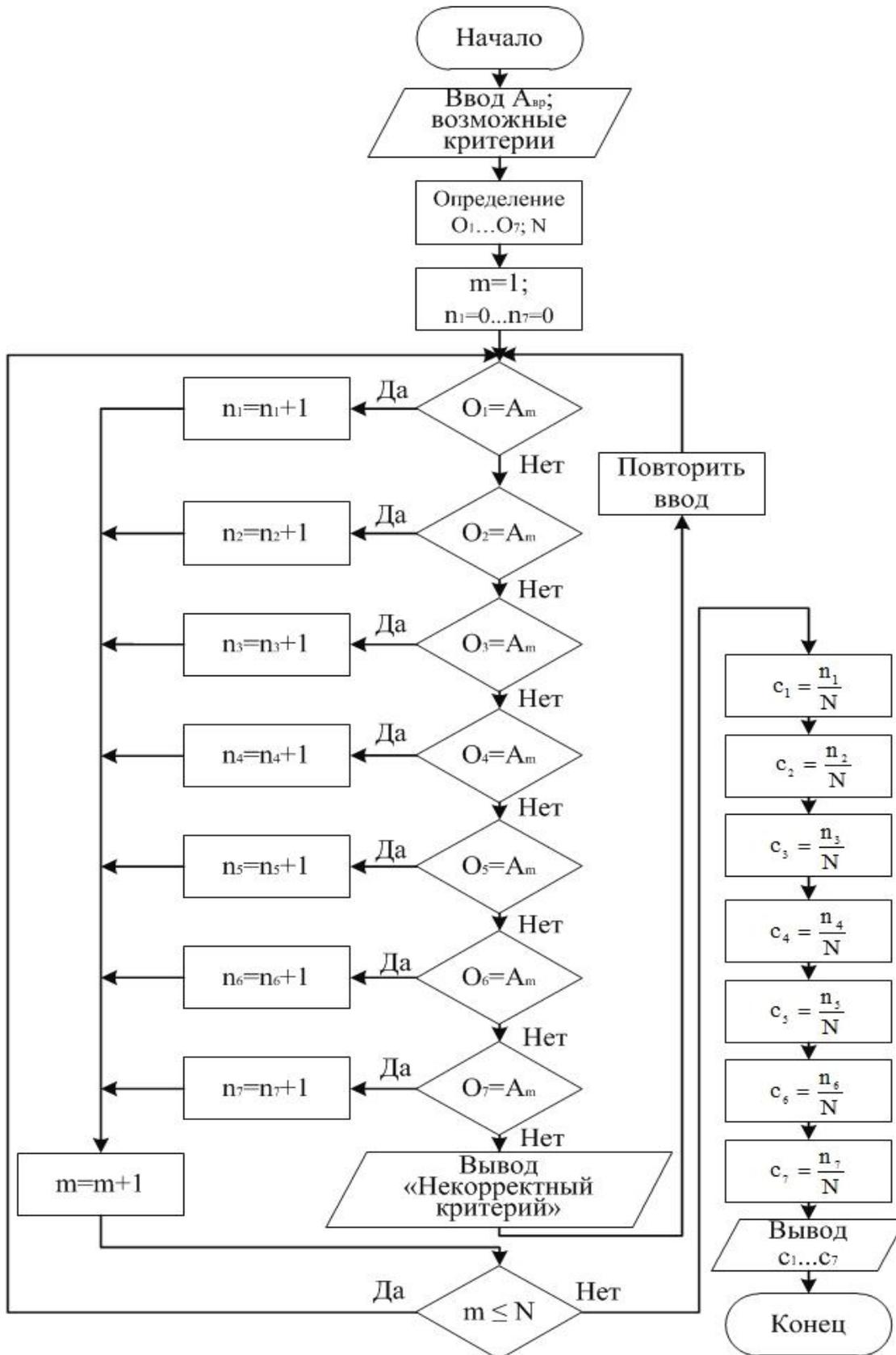


Рисунок 2 – Алгоритм определения степени влияния критериев на распределение вероятности местонахождения объекта поиска

В предложенной модели район поиска ($A_{ар}$) определяется исходя из информации о последнем известном местонахождении объекта поиска или его

маршрута и возрастной группы. Для исходной точки величина $A_{вр}$ определяется по выражению

$$A_{вр} = (2(V_{оп} \cdot T_{нп}))^2, \quad (2)$$

где $V_{оп}$ – скорость передвижения объекта поиска, км/ч;

$T_{нп}$ – период времени с момента происшествия или момента поступления последнего сигнала от объекта поиска до начала поисков, ч.;

а для исходной линии – по выражению

$$A_{вр} = (2 \cdot V_{оп} \cdot T_{нп}) \cdot (L_m + 2 \cdot V_{оп} \cdot T_{нп}), \quad (3)$$

где L_m – длина маршрута, км.

Район поиска предложено разбивать на крупноблочные ячейки, размеры которых задает руководитель ПСО. Рекомендуемый размер ячейки определяется максимальной дальностью видимости в районе поиска.

Каждой ячейке присваивается значение в зависимости от критериев и весовых коэффициентов, влияющих на распределение вероятности

$$A = L + \sum_{i=1}^n O_i \cdot c_i; \quad 0 < L \leq 1; \quad A \in \{0;1\}, \quad (4)$$

где O_i – критерий, влияющий на распределение вероятностей местонахождения (при наличии критерия в ячейке $O_i = 1$, при отсутствии критерия $O_i = 0$);

c_i – весовой коэффициент, определяющий значимость критерия;

L – поправочный коэффициент, учитывающий расстояние от исходной точки (линии), который определяется выражением

$$L = \left(1 - \frac{l}{r}\right), \quad (5)$$

где l – расстояние до исходной точки, км;

r – максимальное расстояние, на котором были найдены люди (если данное расстояние превышает границы района поиска, L принимается равным радиусу максимального района поиска), км.

Значение L варьируется при выполнении условия $0 < L \leq 1$. Как только данное условие нарушается, для всех последующих ячеек значение L принимается равным последнему значению, отвечающему данному условию. В результате формируется матрица – поле с наиболее вероятными местами поиска.

Блок-схема алгоритма построения карт вероятностей местонахождения объекта при проведении поисково-спасательных операций в природной среде представлена на рисунке 3.

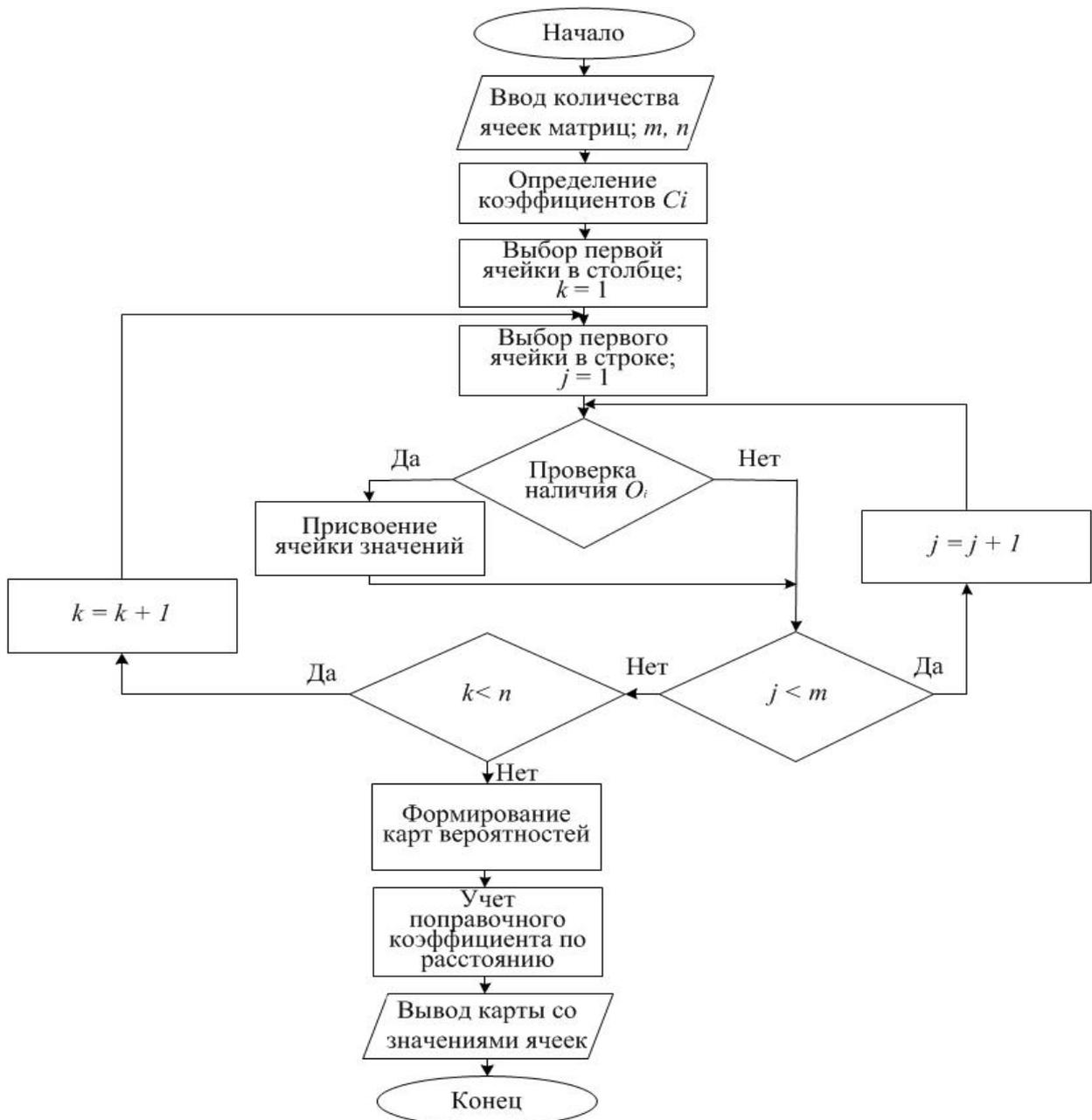


Рисунок 3 – Алгоритм построения карт вероятностей местонахождения объекта при поисково-спасательных операциях в природной среде

Для лучшего восприятия ЛПР информации о распределении вероятности местонахождения объекта строится трехмерный график. С помощью цвета выделяются места с наиболее высокой вероятностью местонахождения объекта поиска.

На основе данной карты производится оценка вероятности успеха поиска (P_y) по выражению, которое определяется как произведение вероятности местонахождения объекта поиска и вероятности обнаружения объекта

$$P_y = P_{mo} \cdot P_{oo}, \quad (6)$$

где P_{mo} – вероятность местонахождения объекта поиска в данном районе (полученные значения вероятностей);

P_{oo} – вероятность обнаружения объекта поиска (определяется в соответствии с методикой поиска).

Данная оценка позволяет лицу, принимающему решение, выбрать оптимальный сценарий поисково-спасательных операций.

На основе этой оценки производится распределение сил и средств в соответствии с методикой поиска. Разработанный алгоритм распределения сил и средств представлен на рисунке 4.

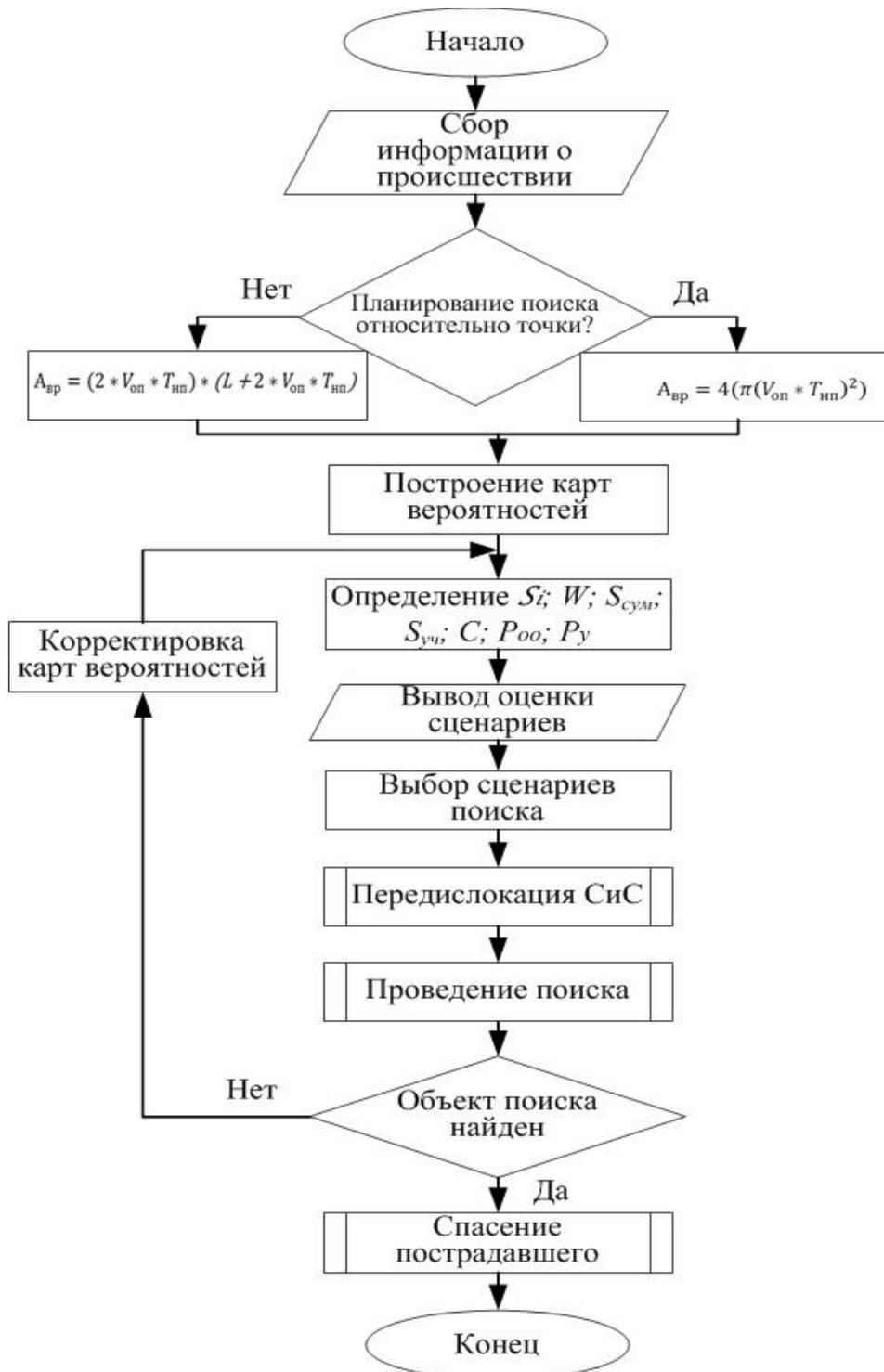


Рисунок 4 – Алгоритм определения оптимальных маршрутов передислокации сил и средств

Данный алгоритм обеспечивает поддержку принятия решений при распределении сил и средств в районе поиска, что позволяет снизить риск выбора неправильного сценария развития ПСО.

Предложена математическая модель и алгоритм определения оптимальных маршрутов передислокации сил и средств при проведении поисково-спасательных операций в природной среде.

Для определения возможных маршрутов передислокации сил и средств предлагается использовать алгоритм волновой трассировки. Алгоритм предусматривает использование полученной карты района поиска, разделенной на ячейки, и блокирование непроходимых ячеек. К непроходимым ячейкам относятся те, которые соответствуют водным преградам (озера, реки, болота и др.), резким перепадам высот. При перемещении крупных транспортных средств блокируются ячейки с плотной растительностью, в зависимости от вида транспорта. После определения непроходимых ячеек система формирует волну, которая фиксирует длину маршрута в каждом направлении. Данная волна представляет собой операцию последовательного присвоения числового значения для каждой ячейки, исходя из количества пройденных. После прохода волны, система формирует кратчайший путь. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 5.

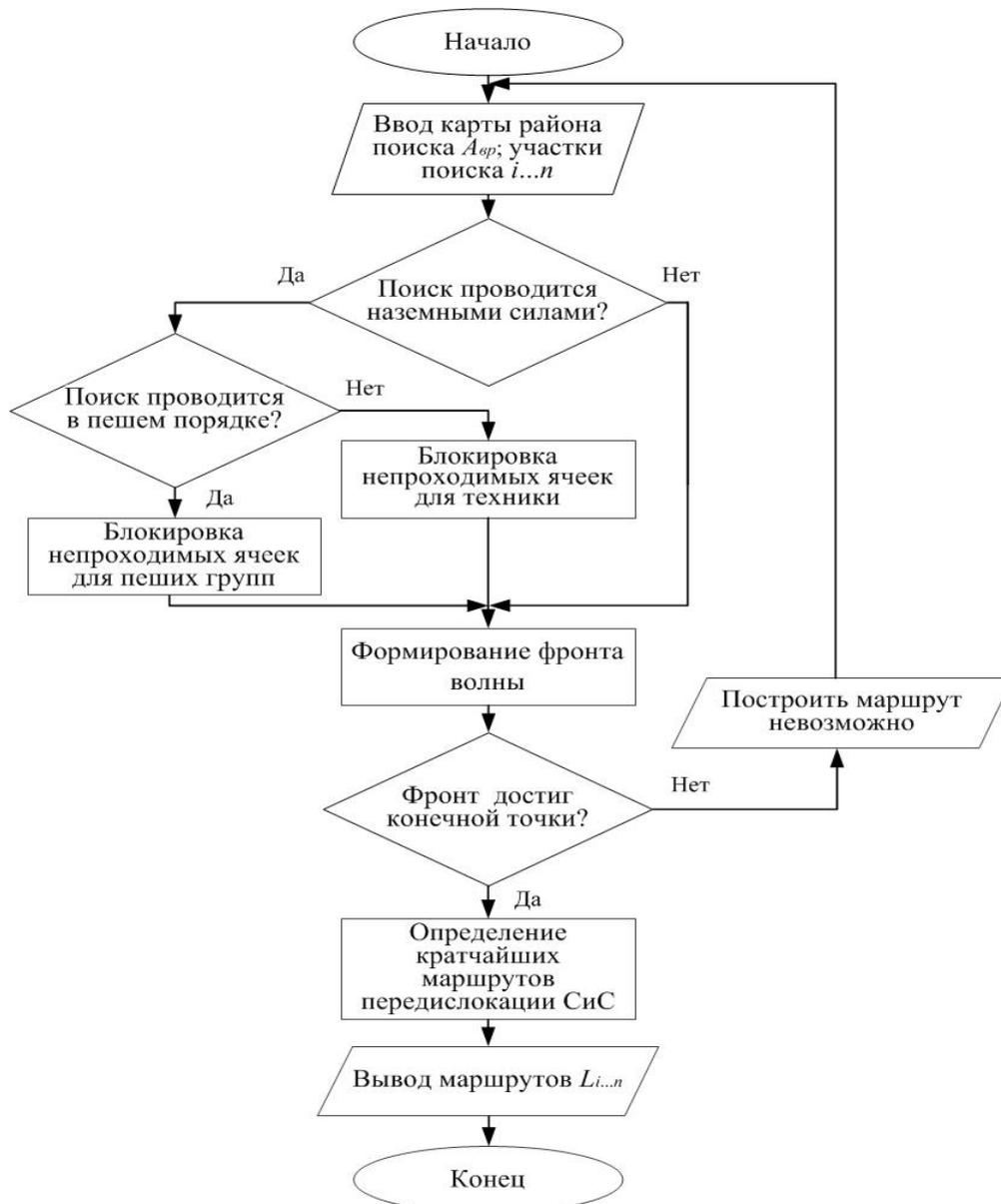


Рисунок 5 – Алгоритм определения возможных маршрутов передислокации сил и средств

При этом путей может быть несколько. В этом случае предлагается применять разработанную математическую модель определения оптимальных маршрутов передислокации сил и средств.

При построении математической модели рассмотрены условия, влияющие на скорость и результативность передислокации сил и средств, на основании которых определены показатели, влияющие на выбор маршрутов передвижения сил и средств во время поиска.

Показатель «расстояние до участка поиска» дает информацию о дальности маршрута и вычисляется как отношение расстояния до участка поиска L_i к максимальному расстоянию L_{max} в предполагаемом районе поиска

$$L_i = \frac{L_i}{L_{max}}, \quad (7)$$

где L_i – расстояние до участка поиска i , $i=1 \dots n$, км;

L_{max} – максимальное расстояние в предполагаемом районе поиска, км;

n – количество участков поиска в районе поиска.

Максимальное расстояние в предполагаемом районе поиска определяется по формуле

$$L_{max} = \sqrt{(0,5 \cdot a)^2 + (0,5 \cdot b)^2}, \quad (8)$$

где a, b – стороны предполагаемого района поиска, км.

Показатель «вероятность местонахождения объекта поиска» дает информацию о вероятности местонахождения объекта на маршруте передислокации до участка поиска i к максимальному значению вероятности местонахождения объекта поиска в районе поиска

$$P_i = \frac{P_{мо i}}{P_{мо max}}, \quad (9)$$

где $P_{мо i}$ – вероятность местонахождения объекта на маршруте передислокации до участка поиска i , $i=1 \dots n$;

$P_{мо max}$ – максимальное значение вероятности местонахождения объекта поиска в районе поиска;

n – количество участков поиска в районе поиска.

Значение переменной $P_{мо i}$ определяется по результатам построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска. Значение переменной $P_{мо max} = 1$. Таким образом, формула (8) принимает вид:

$$P_i = P_{мо i}. \quad (10)$$

Проведена параметрическая оценка показателей, в ходе которой определены границы их изменений

$$L \in [0;1], \quad (11)$$

$$P \in [0;1]. \quad (12)$$

В данной постановке задачи управления передислокацией сил и средств каждый маршрут движения характеризуется векторной оценкой, включающей 2

показателя. Так как для показателя «расстояние до участка поиска» наиболее благоприятным является минимальное значение $L \rightarrow \min$, а для показателя «вероятность местонахождения объекта поиска» наиболее благоприятным является максимальное значение $P \rightarrow \max$, для показателя P целесообразно взять обратное значение $P' = (1-P)$.

С целью ранжирования маршрутов передислокации по предпочтительности применяется комплексный показатель d

$$d = \langle L; P' \rangle, \quad (13)$$

где L – показатель «расстояние до участка поиска»;

P' – показатель «вероятность местонахождения объекта поиска».

Для определения зависимости показателей L_i , P' от комплексного показателя d применен метод целевого программирования. Данный метод относится к количественным методам теории многопараметрической оптимизации и предусматривает выбор векторной оценки «маршрут передислокации сил и средств», расположенной «ближе» других к идеальной векторной оценке. Расстояния между векторными оценками измеряются с помощью метрики n -го пространства

$$F(R_i, R_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^k w_i (r_i - r_j)^2}, \quad (14)$$

где R_i, R_j – идеальная векторная оценка i и j ;

r_i, r_j – значение частных показателей для векторной оценки i и j ;

w_i – весовые коэффициенты, учитывающие количественную важность

показателей, $\sum_{i=1}^k w_i = 1$;

k – количество показателей, формирующих векторную оценку i и векторную оценку j .

Так как векторные оценки вариантов по результатам параметрического анализа относятся к Евклидову пространству, тогда формула (14) принимает вид (15).

$$d = \sqrt{\alpha \cdot (L_i)^2 + \beta \cdot P'^2}, \quad (15)$$

при условиях $L_i \rightarrow \min, i = 1, \dots, n$;

$P' \rightarrow \min, i = 1, \dots, n$,

где α, β – весовые коэффициенты при L_i, P'_i , $\alpha + \beta = 1$.

n – количество маршрутов передислокации сил и средств.

Весовые коэффициенты по умолчанию принимаются равнозначными. На усмотрение ЛПР они могут изменяться исходя из обстановки, отдавая предпочтение одному из показателей.

По результатам поиска в районе, в котором объект не обнаружен, руководитель ПСО пересматривает оценку вероятности нахождения объекта в данном районе в сторону уменьшения на соответствующую величину, используя выражение

$$P_y = (1 - P_{oo}) \cdot P_{но} \quad (16)$$

В целях определения роли руководителя поисково-спасательной операции принимающего решения разработана схема взаимодействия ЛПР и СПУ при передислокации сил и средств представленная на рисунке 6.

С целью оценки эффективности разработанной модели и алгоритмов была выбрана ранее проведённая поисково-спасательная операция, проанализированы результаты и проведено моделирование поисково-спасательной операции при тех же начальных условиях, но с использованием разработанной модели.

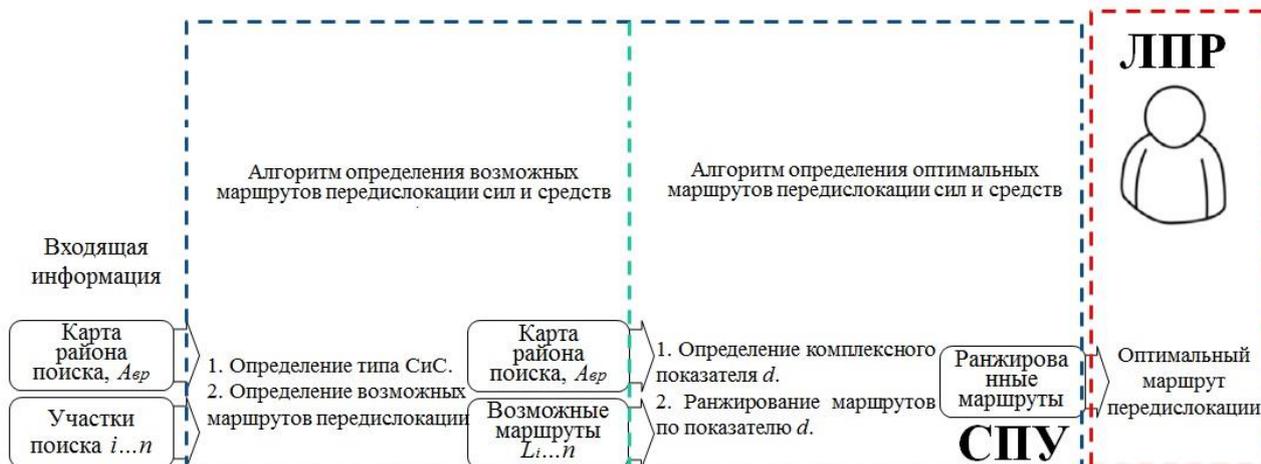


Рисунок 6 – Схема взаимодействия ЛПР и СПУ при передислокации сил и средств

Для эксперимента была выбрана поисково-спасательная операция Санкт-Петербургской региональной общественной организации "Объединение добровольных спасателей ЭКСТРЕМУМ" (СПб РОО «ЭКСТРЕМУМ»), проходившие с 19 сентября по 21 сентября 2014 г. в Бокситогорском районе Ленинградской области. Объектом поиска был мужчина 1952 г. рождения. В состав поисково-спасательной группы входило 9 человек. Карта местности представлена на рисунке 7.

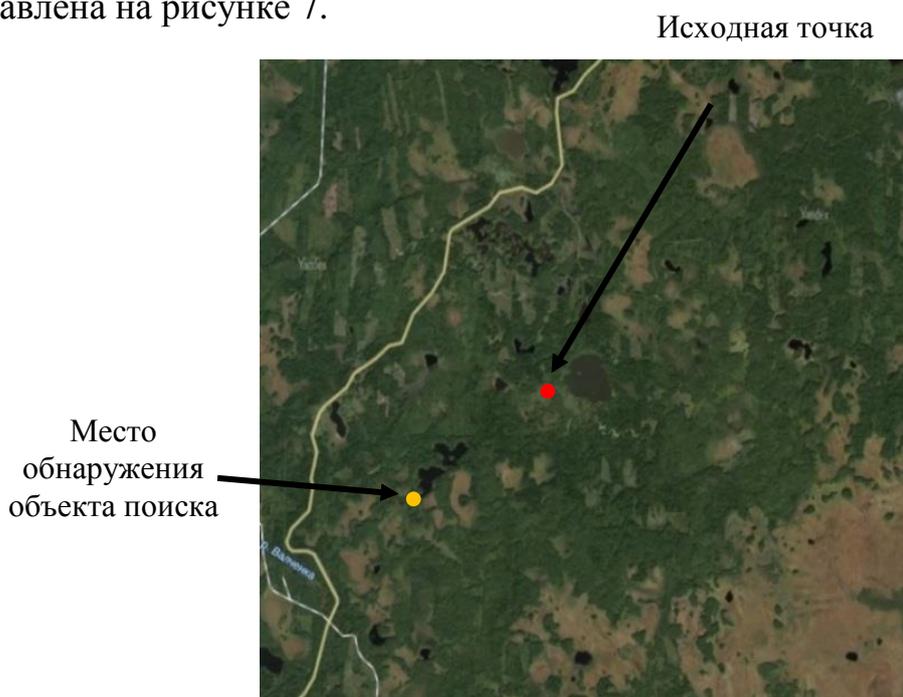


Рисунок 7 – Карта местности, в которой проводилась поисково-спасательная операция

В ходе работы алгоритма построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска определены весовые коэффициенты для критериев (табл. 2).

Таблица 2 - Весовые коэффициенты для критериев

Наименование критерия	O_1	O_6	O_3	O_4	O_7	O_2	O_5
Степень влияния, c_i	0,32	0,21	0,17	0,11	0,11	0,05	0,03

Сформирована карта вероятностей местонахождения объекта поиска для первого поиска, представленная на рисунке 8. На основе полученной карты распределены имеющиеся силы и средства.

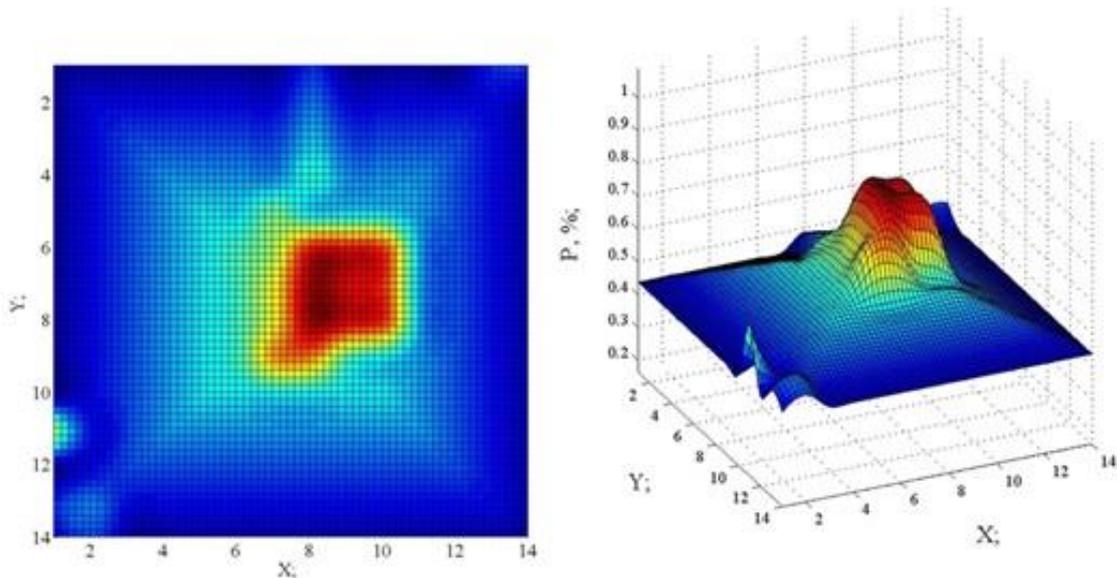


Рисунок 8 – Трёхмерный график распределения плотности вероятности местонахождения объекта поиска для 1-го поиска

Так как поиск не дал результата, производится перерасчет вероятностей. Результаты представлены на рисунке 9.

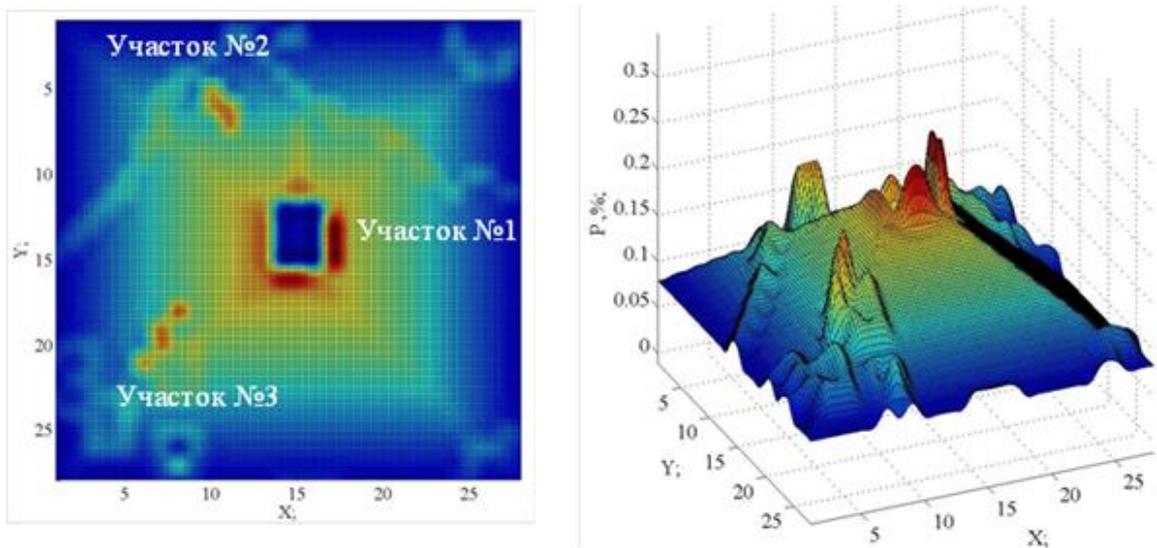


Рисунок 9 – Трёхмерный график распределения плотности вероятности местонахождения объекта поиска для 2-го поиска

Разработанная модель позволяет произвести оценку вероятности успеха поисково-спасательных операций при различных вариантах распределения сил и средств. С учетом имеющихся в распоряжении 9-ти человек возможны следующие варианты распределения:

- вариант №1: участок №1 – 6 человек, участок №2 – 1 человек, участок №3 – 2 человека;
- вариант №2: участок №1 – 5 человек, участок №2 – 2 человека, участок №3 – 2 человека;
- вариант №3: участок №1 – 5 человек, участок №2 – 1 человек, участок №3 – 3 человека.

Результаты оценки вероятности успеха (P_y) представлены на рисунке 10.

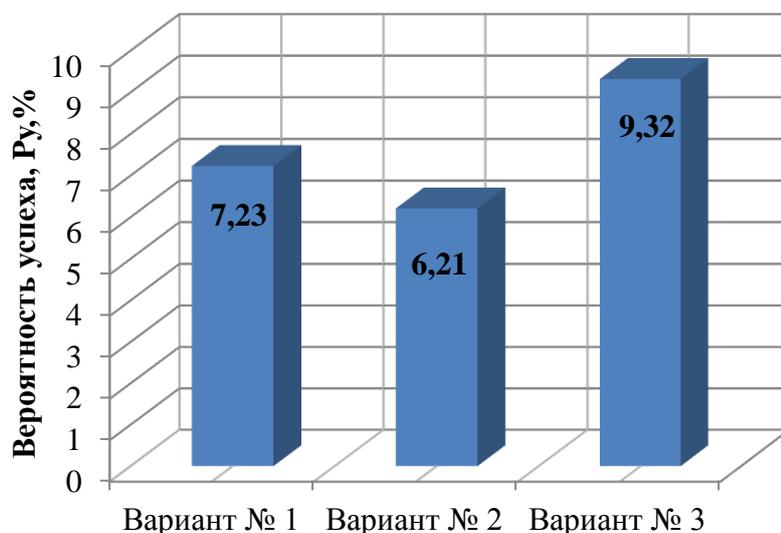


Рисунок 10 – Результаты оценки вероятности успеха ПСО

Исходя из гистограммы, приведенной на рисунке 11, можно заключить, что наибольшую вероятность успеха имеет 3-й вариант распределения сил. При проведении поиска обследован участок, в котором находился объект.

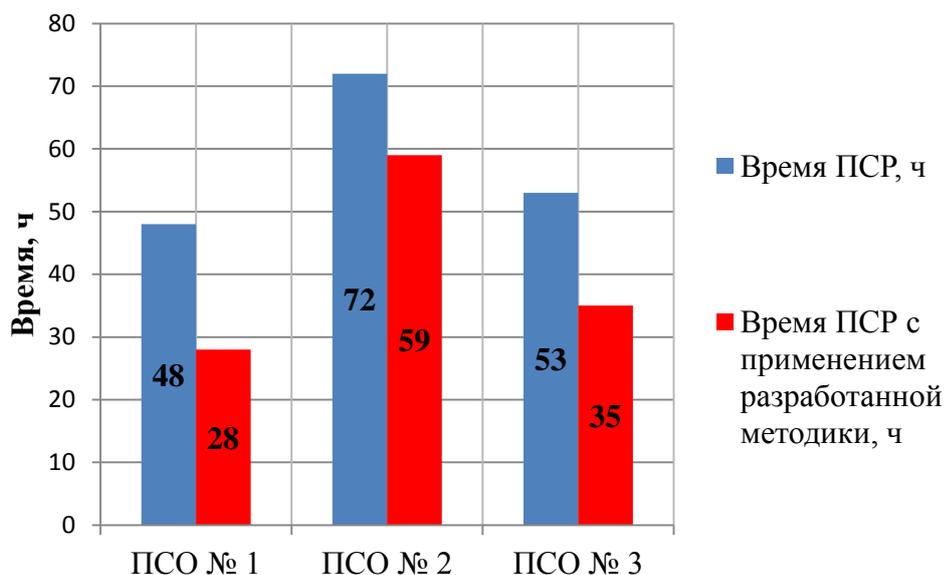


Рисунок 11 – Результаты оценки вероятности успеха ПСО

По результатам моделирования установлено, что время поиска при использовании предложенной модели сократилось на 40%. Моделирование, было проведено ещё для двух поисково-спасательных операций, в которых время поиска снизилось на 18% и на 33%.

В ходе моделирования поисково-спасательных операций с применением разработанной модели установлены следующие отличительные особенности модели:

- модель позволяет снизить время поиска в среднем на 30%;
- модель позволяет в первую очередь обследовать участки с максимальной вероятностью местонахождения объекта поиска;
- модель позволяет проводить оценку распределения сил и средств перед принятием решения.

В третьей главе "**Разработка структуры, основных элементов, принципов функционирования и взаимодействия системы поддержки управления поисково-спасательными операциями**" предложена структура системы поддержки управления поисково-спасательными операциями в природной среде. Структурная схема функционирования системы управления ПСО в природной среде представлена на рисунке 12.

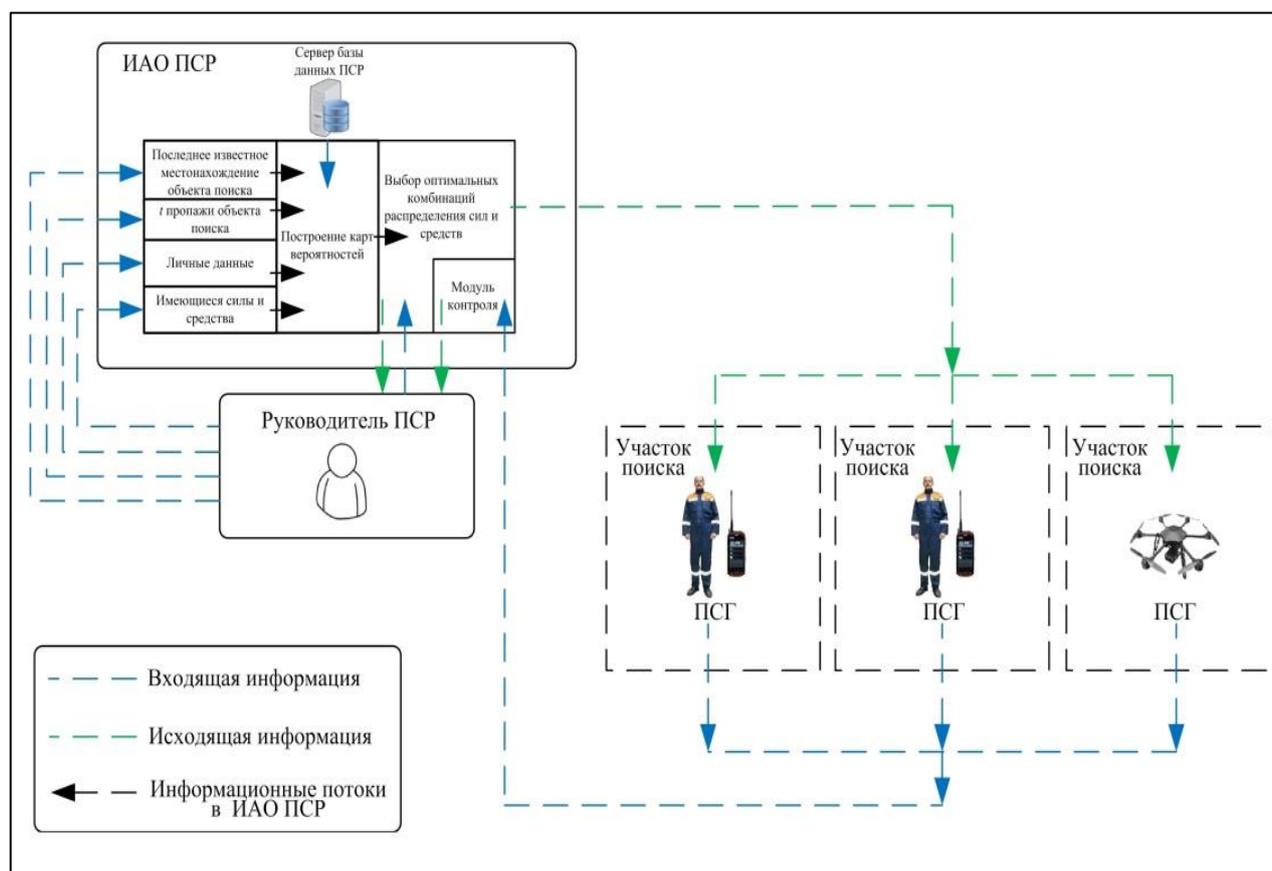


Рисунок 12 – Структурная схема функционирования системы управления ПСО в природной среде

Выявлен перечень исходной информации (последнее известное местоположение объекта поиска, маршрут движения, персональные данные и др.), необходимые для построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска.

Определена структура информационно-аналитического обеспечения поддержки управления поисково-спасательными операциями (рис. 13), задачи, способы и порядок взаимодействия модулей, входящих в него.

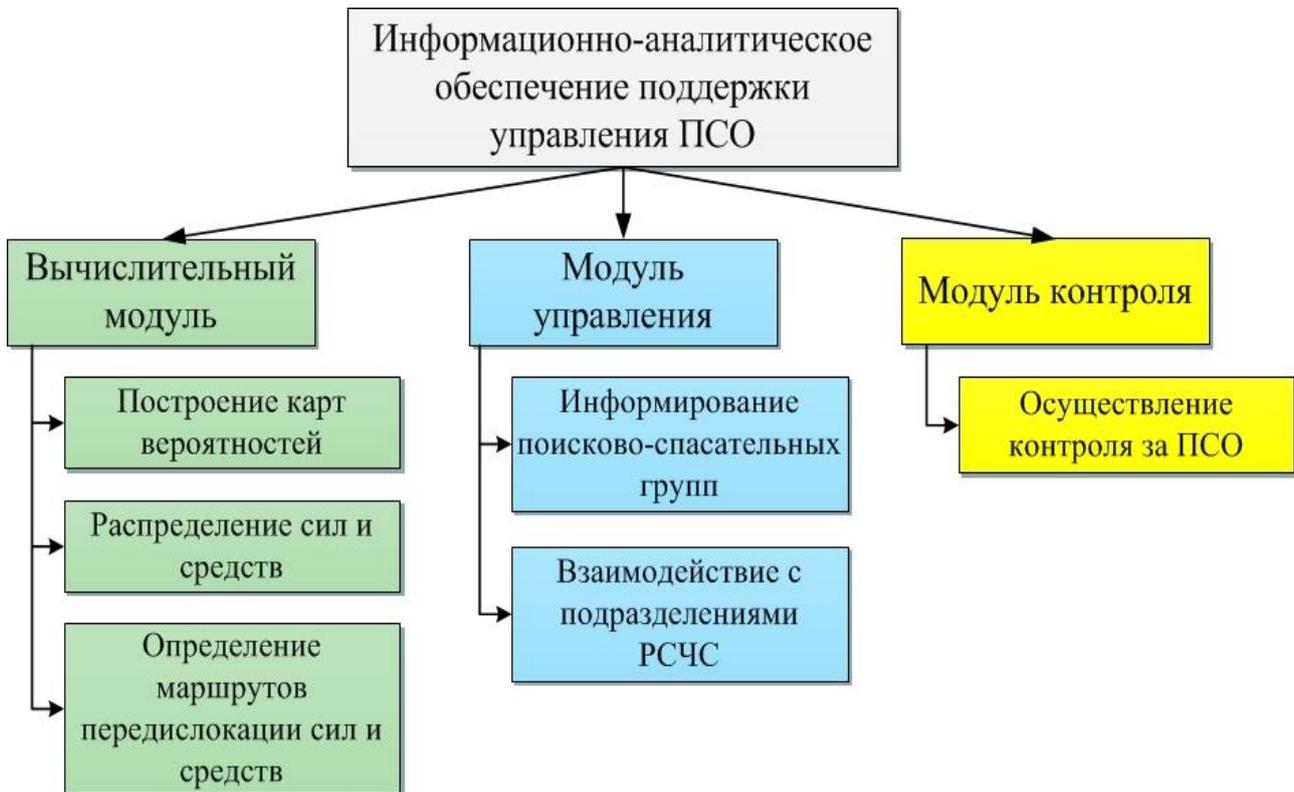


Рис. 13. Структура информационно-аналитического обеспечения управления поисково-спасательными работами

Предложена программно-техническая реализация информационно-аналитического обеспечения на базе мобильного комплекса связи и управления МКУ МСР-КОМ, разработанного АГПС МЧС России совместно с конструкторским бюро опытных работ концерна «Созвездие». Использование данного комплекса позволяет реализовать возможности предлагаемого информационно-аналитического обеспечения.

Информационно-аналитическое обеспечение позволяет осуществлять поддержку принятия управленческих решений руководителю поисково-спасательными операциями, а также снизить вероятность ошибок математических расчетов при распределении сил и средств за счет автоматизации процесса. Эффективность системы обусловлена использованием апробированных методов и алгоритмов. Общий алгоритм работы системы представлен на рисунке 14.

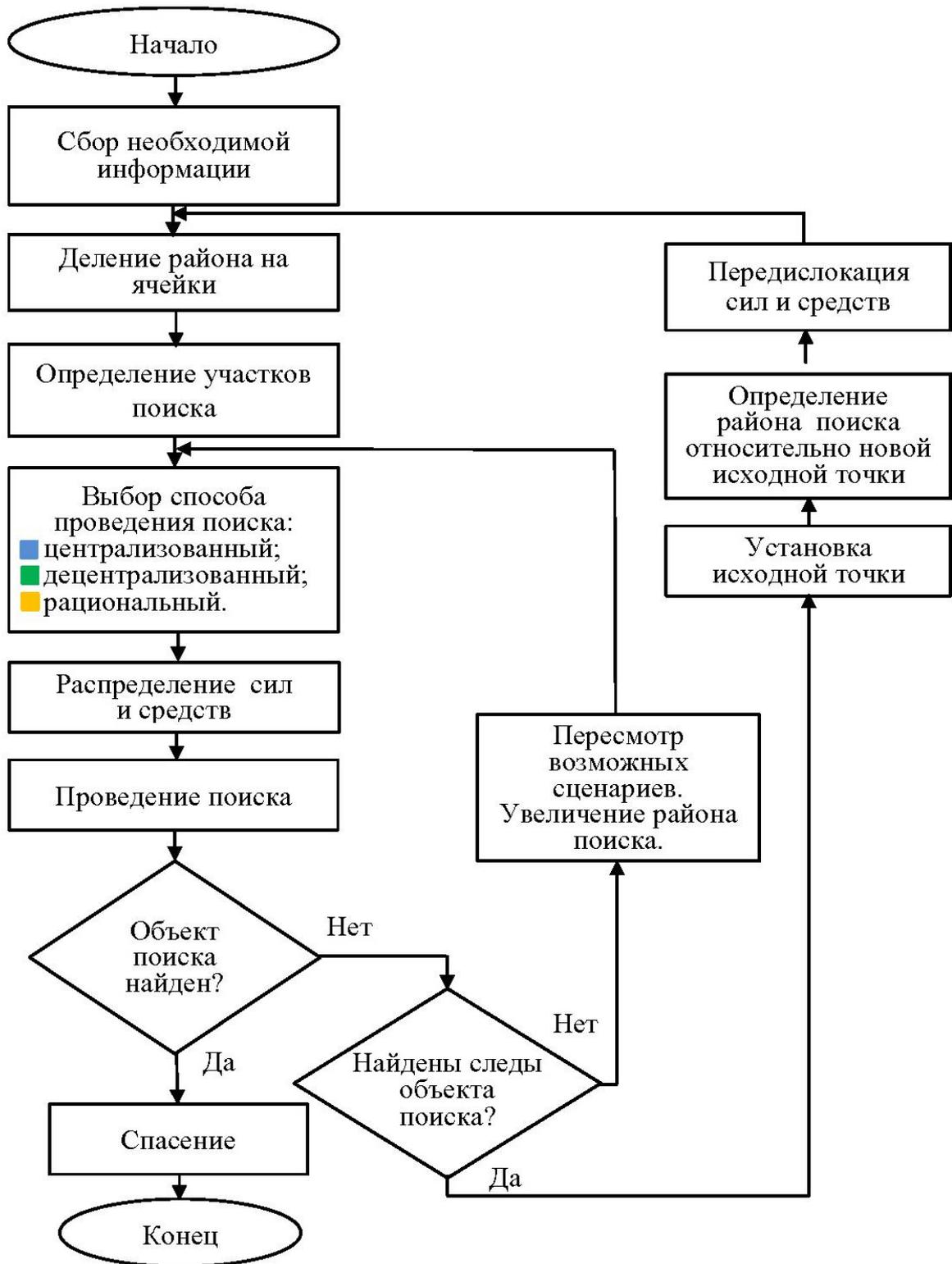


Рисунок 14 – Обобщённый алгоритм информационной-аналитической поддержки управления поисково-спасательными операциями

В целях обеспечения взаимодействия между руководителем поисково-спасательной операции и системой поддержки управления разработан алгоритм (рис. 15), который показывает роль ЛПР в ходе проведения поисково-спасательных операций.

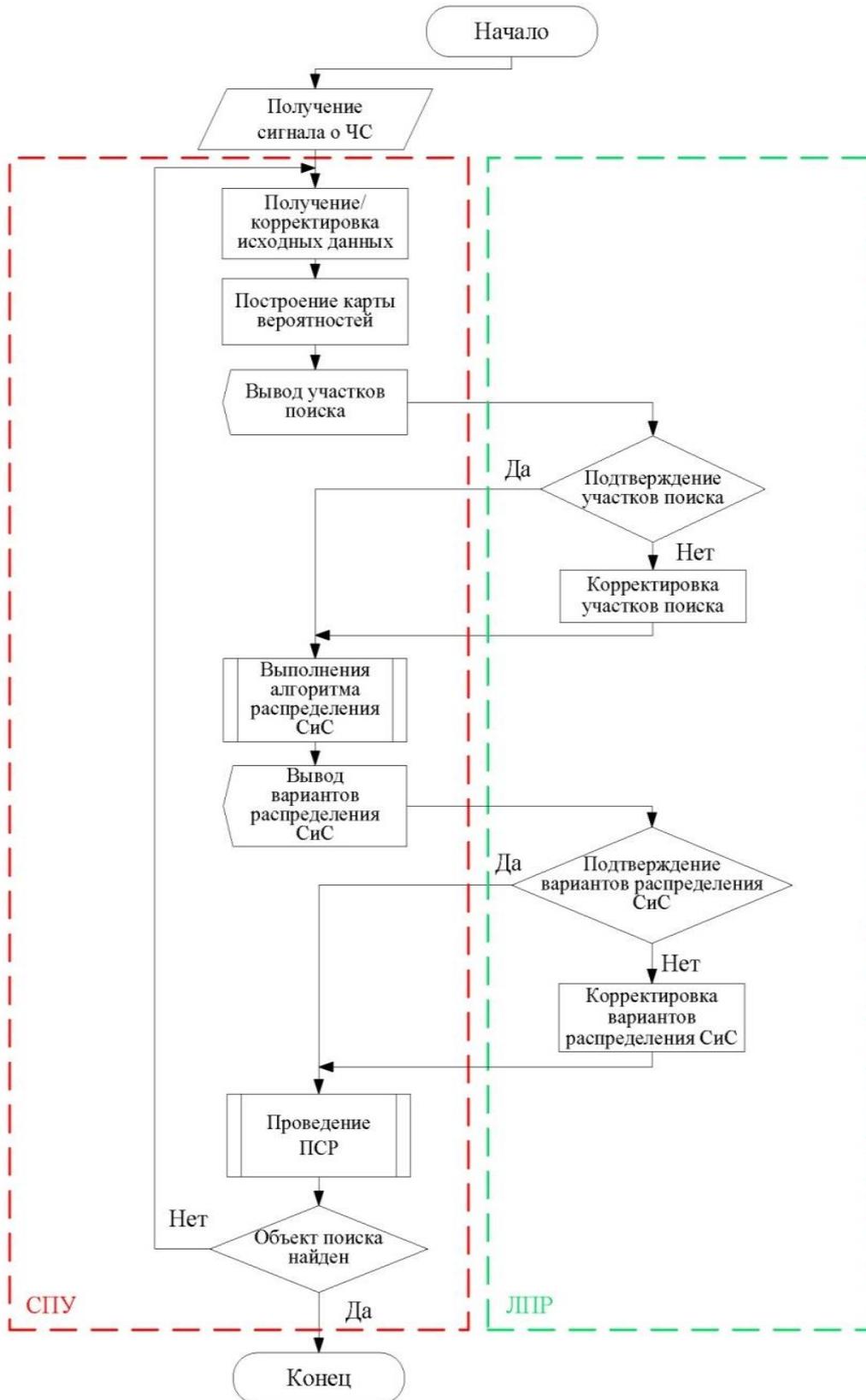


Рисунок 15 – Алгоритм взаимодействия ЛПП с системой поддержки управления при проведении поиска в природной среде

Компьютерная реализация информационно-аналитического обеспечения поддержки управления ПСО в природной среде осуществлена в виде программного продукта для построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска (рис. 16).

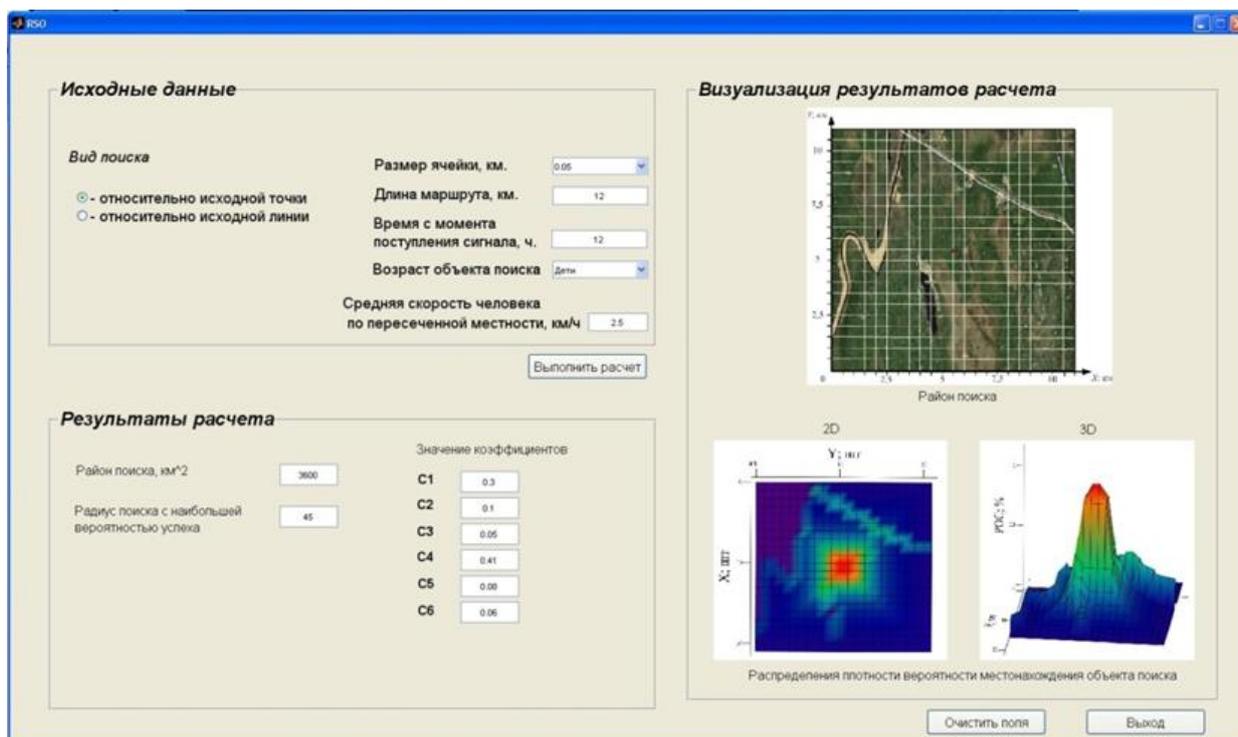


Рисунок 16 – Интерфейс программного комплекса по построению карт вероятностей местонахождения объекта поиска

Программный комплекс позволяет руководителю поисково-спасательных операций в интерактивном режиме проводить анализ возможного местонахождения объекта поиска, проводить оценку вероятности успеха ПСО и перераспределять имеющиеся силы и средства.

В приложении приведены свидетельства о государственной регистрации и листинг кода программ для ЭВМ, акты внедрения диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследования решена научная задача по повышению эффективности управления поисково-спасательными операциями подразделений МЧС России в природной среде. Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Проведён статистический анализ поисково-спасательных операций в природной среде, по результатам которого установлено, что соотношение числа спасённых и числа погибших имеет стабильно установившееся значение в 80% и 20% соответственно. Выявлены основные критерии, влияющие на распределение вероятностей местонахождения объекта поиска. Для осуществления информационной поддержки разработана структура базы данных поисково-спасательных операций.

2. Разработана модель построения карт вероятностей местонахождения объекта поиска в природной среде. Данная модель позволяет в первую очередь обследовать участки с максимальной вероятностью местонахождения объекта

поиска и проводить оценку распределения сил и средств перед принятием решения, что ведет к снижению времени поиска в среднем на 30 %.

3. Разработана математическая модель определения оптимальных маршрутов передислокации сил и средств при проведении поисково-спасательных операций в природной среде. В предложенной модели реализован комплексный двухкритериальный показатель, позволяющий ранжировать маршруты при равной протяженности или в соответствии с предпочтениями ЛПР.

4. Разработаны алгоритмы управления действиями подразделений МЧС России при проведении поисково-спасательных операций - алгоритм работы информационно-аналитического обеспечения поисково-спасательных операций, алгоритм построения карт вероятностей, алгоритм передислокации сил и средств, алгоритм взаимодействия ЛПР с системой поддержки управления при проведении поиска в природной среде, алгоритм взаимодействия с ГИМС. Использование данных алгоритмов позволяет осуществлять поддержку принятия управленческих решений руководителю поисково-спасательными операциями, а также снизить вероятность ошибок расчетов при распределении сил и средств за счет автоматизации процесса.

5. Предложена структура системы информационно-аналитического обеспечения поддержки управления поисково-спасательными операциями в природной среде и ее основные элементы, определены её цели и задачи. Разработан программный комплекс по построению карт вероятностей местонахождения объекта поиска, который позволяет в интерактивном режиме определить участки с наибольшей вероятностью местонахождения объекта и на основании этого принимать решения по управлению силами и средствами.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

в научных изданиях, рекомендованных ВАК России для публикации основных результатов диссертационного исследования:

1. Береснев, Д.С. Оптимизация параметров сети передачи данных автоматизированной информационной системы Государственной инспекции по маломерным судам [Электронный ресурс] / А.А. Атюкин, И.А. Максимов, Д.С. Береснев // Технологии техносферной безопасности. – 2011. Вып. 4 (38).- 5 с. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-4/38-04-11.ttb.pdf>.

2. Береснев, Д.С. Поддержка принятия решений при проведении поисково-спасательных операций в условиях крайнего севера [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, Д.С. Береснев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – Вып. 5 (57).– 4 с. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-5/18-05-14.ttb.pdf>.

3. Береснев, Д.С. Программно-техническое средство определения маршрута следования аварийно-спасательной техники через ледовую переправу [Электронный ресурс] / Д.С. Береснев, А.В. Мокшанцев // Технологии техносферной безопасности. – 2015. Вып. 5 (63). – 4 с. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/36-05-15.ttb.pdf>.

4. Береснев, Д.С. Концепция информационно-аналитического обеспечения управления поисково-спасательными работами [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, Д.С. Береснев, А.А. Рыженко // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – Вып. 4 (62). – 8 с. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/40-04-15.ttb.pdf>.

5. Береснев, Д.С. Методика планирования поисково-спасательных работ в природной среде [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, Д.С. Береснев, А.А. Рыженко, А.В. Мокшанцев // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – Вып. 3 (67). – 5 с. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/33-03-16.ttb.pdf>.

6. Береснев, Д.С. Информационно-аналитическое обеспечение поддержки управления поисково-спасательными работами / Н.Г. Топольский, В.Л. Семиков, Ю.В. Прус, О.В. Яковлев, Д.С. Береснев // Системы управления и информационные технологии, №4.1(66), 2016. – С. 194-196.

в других научных изданиях:

7. Береснев, Д.С. Проблема организации мониторинга арктической зоны российской федерации / Д.С. Береснев // Материалы 3-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2014». Москва, 2014 – С. 138-139.

8. Береснев, Д.С. Проведение аварийно-спасательных работ в Арктической зоне российской федерации / Д.С. Береснев // Материалы VI международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы перспективы». Санкт-Петербург, 2014 – С. 108-109.

9. Береснев, Д.С. Планирование при проведении поисково-спасательных работ в природной среде / Д.С. Береснев // Материалы 4-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015». Москва, 2015 – С. 488-493.

10. Береснев, Д.С. О физическом состоянии пострадавших при проведении поисковых работ / Д.С. Береснев, А.В. Мокшанцев, До Хоанг Тхань // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Воронеж, 2015 – С. 375 - 378.

11. Береснев, Д.С. Моделирование программной среды комплексного управления автономными устройствами при решении профильных целевых

задач / А.А. Рыженко, Д.С. Береснев// XI Всероссийская конференция «Методологические проблемы управления макросистемами» (Апатиты, 26 марта – 3 апреля 2016 года). Материалы докладов. – Апатиты: КНЦ РАН, 2016. – с. 70-72.

12. Береснев, Д.С. Комплексный подход при планировании ПСО / Д.С. Береснев // Материалы 5-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016». Москва, 2016 – С. 159-163.

13. Береснев, Д.С. Определение оптимального маршрута передислокации сил и средств при проведении поисково-спасательных работ в природной среде / Д.С. Береснев, Д.В. Шихалев // Сборник тезисов докладов материалов международной научно-практической конференции «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности». Москва, 2018 – С. 840-843.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

14. Береснев, Д.С., Топольский, Н.Г., Рыженко, А.А., Информационная система трехмерного проектирования поверхности земли. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 30 сентября 2015 года № 2015660417.

15. Береснев, Д.С., Топольский, Н.Г., Рыженко, Н.Ю., Шапошник, Д.С., Информационная система контроля знаний обучающихся. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 08 сентября 2015 года № 2015619588.

16. Береснев, Д.С., Топольский, Н.Г., Рыженко, Н.Ю., Нго Куанг Тоан, Методика выбора эффективных мероприятий для предупреждения аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 20 сентября 2016 года № 2015619588.

17. Береснев, Д.С., Топольский, Н.Г., Рыженко, А.А., Шихалев, Д.В., Построение карт вероятностей местонахождения объекта поиска в природной среде. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 22 марта 2017 года № 2017613584.

Подписано в печать 27.03.2019 г.
Тираж 100 экз.

Формат бумаги 60x90 1/16
Заказ № 253