

На правах рукописи



До Хоанг Тхань

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОВЕДЕНИЕМ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
ВО ВЬЕТНАМЕ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре информационных технологий в составе учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России».

Научный руководитель: **Топольский Николай Григорьевич**
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Официальные оппоненты: **Таранцев Александр Алексеевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»

Тараканов Денис Вячеславович
доктор технических наук, профессор кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

Защита диссертации состоится «03» февраля 2021 г. в 12:00 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: <https://academygps.ru/upload/iblock/0f9/0f903067f1ee90610bbcd9047c675a52.pdf>

Автореферат разослан «09» декабря 2020 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. Оперативность проведения поисково-спасательных работ (ПСР) при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) и пожаров во Вьетнаме определяется созданием структуры информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе программного комплекса (ПК) для проведения ПСР Социалистической Республики Вьетнам (СРВ).

Разработка моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при мониторинге оперативной информации является одним из важнейших путей развития Министерства общественной безопасности (МОБ) СРВ, поскольку требуется находить оптимальные варианты сбора, хранения, обработки информации и прогнозирования ЧС и пожаров.

Актуальность работы вызвана необходимостью разработки и внедрения современных моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений и создания информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе ПК для проведения ПСР.

В последнее время широко применяются методы планирования мероприятий по данной проблеме на основе прогнозирования и анализа рисков ЧС и пожаров.

По итогам анализа и прогнозирования рисков ЧС и пожаров выявлены основные задачи, такие как оценка вероятности возникновения стихийных бедствий, аварий, природных и техногенных катастроф (источников ЧС); выявление и идентификация возможных источников ЧС природного и техногенного характера на территории СРВ; прогнозирование возможных последствий воздействия поражающих факторов, источников ЧС и пожаров на население и территории СРВ.

Диссертационная работа посвящена разработке моделей и алгоритмов поддержки управления проведением ПСР во Вьетнаме на основе ПК для проведения ПСР.

Степень разработанности темы исследования. Базой представляемой диссертационной работы служат результаты научной деятельности отечественных и зарубежных ученых, исследующих ПСР: Брушлинского Н.Н., Соколова С.В., Одинцова Л.Г., Денисова А.Н., Тараканова Д. В., Трофимовой Н.В., Cooper D.C., Syrotuck W., Frost J.R., Koorman B.O. и др.; в области систем поддержки принятия решений и информационных технологий: Топольского Н.Г., Хабибулина Р.Ш., Мешалкина Е.А., Мокшанцева А.В. и др.

Объектом исследования является процесс управления проведением поисково-спасательных работ в результате чрезвычайных ситуаций и пожаров во Вьетнаме.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы поддержки управленческих решений в процессе проведения поисково-спасательных работ во Вьетнаме на основе программного комплекса.

Целью исследования является сокращение времени проведения поисково-спасательных работ с помощью моделей и алгоритмов поддержки управления действиями поисково-спасательных служб во Вьетнаме на основе программного комплекса.

Основные задачи исследования:

1. Провести анализ системы управления проведением поисково-спасательных работ во Вьетнаме.

2. Разработка математических моделей и алгоритмов поддержки принятия решений для следующих управленческих задач:

- определение физического состояния пострадавших при проведении поисково-спасательных работ;

- проведение поисково-спасательных работ по поиску и обнаружению пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах;

3. Разработка специального программного обеспечения системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе программного комплекса для проведения поисково-спасательных работ.

Научную новизну представляют следующие полученные автором новые результаты и разработанные модели и алгоритмы поддержки управления проведением ПСР во Вьетнаме на основе ПК для проведения ПСР:

- анализ проведения поисково-спасательных работ с учётом региональных особенностей Вьетнама;

- математическая модель физического состояния пострадавших при проведении поисково-спасательных работ на основе графов и марковских процессов;

- модель и алгоритм поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием диаграммы Вороного;

- структура и алгоритмы функционирования информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе программного комплекса для проведения поисково-спасательных работ.

- математическая модель концептуальной схемы базы данных (БД) типовой программной системы (ТПС) на основе программного комплекса для проведения поисково-спасательных работ на основе теории множеств.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что на основании выполненных исследований и полученных научных результатов предложены алгоритмы поддержки управления поисково-спасательными работами и модели оценки эффективности их практического применения, позволяющие снизить время проведения поисково-спасательных работ на ЧС и пожары в СРВ.

Практическая значимость работы заключается в том, что использование предлагаемых математических моделей, алгоритмов и реализация информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе ПК для проведения ПСР позволяет снизить время поиска в процессе проведения ПСР.

Методология и методы исследования. В диссертационной работе для решения задач исследования использованы методы и алгоритмы системного анализа, статистического анализа, математической статистики, теории графов, теории марковских процессов и другие.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты анализа проведения поисково-спасательных работ с учётом региональных особенностей Вьетнама;

- математическая модель физического состояния пострадавших при проведении поисково-спасательных работ на основе графов состояния пострадавшего и теории марковских процессов;

- модель и алгоритм поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием диаграммы Вороного;

- структура и алгоритмы функционирования информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе программного комплекса для проведения поисково-спасательных работ.

- математическая модель концептуальной схемы базы данных типовой программной системы программного комплекса для проведения поисково-спасательных работ.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированного математического аппарата, проведением полевых испытаний ПК на основе коротковолнового инфракрасного диапазона (КИД) на испытательном полигоне МОБ Вьетнама в г. Хоабинь, апробацией моделей и алгоритмов в ходе вычислительных экспериментов.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены на 25-29 международных научно-технических конференциях «Системы безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016 – 2020 гг.), 7-9 научно-практических конференциях молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018 – 2020 гг.), научно-технических семинарах учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (2015 – 2020 гг.).

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой математических моделей и алгоритмов поддержки управленческих решений в процессе проведения поисково-спасательных работ во Вьетнаме на основе программного комплекса, получены автором самостоятельно. В работе [6] автор принимал участие в программировании алгоритмов.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы использованы:

- в Главном управлении противопожарной аварийно-спасательной службы Вьетнама при проведении полевых испытаний ПК на основе КИД на испытательном полигоне МОБ Вьетнама в г. Хоабинь;

- в учебном процессе Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при изучении дисциплин «Информационные технологии управления в РСЧС»; «Системы поддержки принятия решений»;

- при проведении научно-исследовательской работы «Модели и алгоритмы поддержки управления проведением поисково-спасательных работ во Вьетнаме» в Институте пожарной безопасности Вьетнама.

Практическое применение результатов исследования подтверждается актами внедрения.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 4 работы опубликованы в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России, опубликована 1 монография, получено 1 свидетельство Роспатента о государственной регистрации комплекса программ для ЭВМ, опубликовано 5 докладов и тезисов докладов в сборниках научных трудов и материалах международных и всероссийских конференций.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём работы составляет 207 страниц. Работа иллюстрирована 62 рисунками, содержит 18 таблиц и 5 приложений. Список литературы включает в себя 95 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту, указаны теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении и апробации результатов.

В первой главе «Анализ системы управления проведением поисково-спасательных работ во Вьетнаме» рассматривается характеристика СРВ и обстановка с ЧС и пожарами во Вьетнаме.

Проведён сравнительный анализ количества пожаров во Вьетнаме и его частях. Результаты анализа представлены на рис. 1.

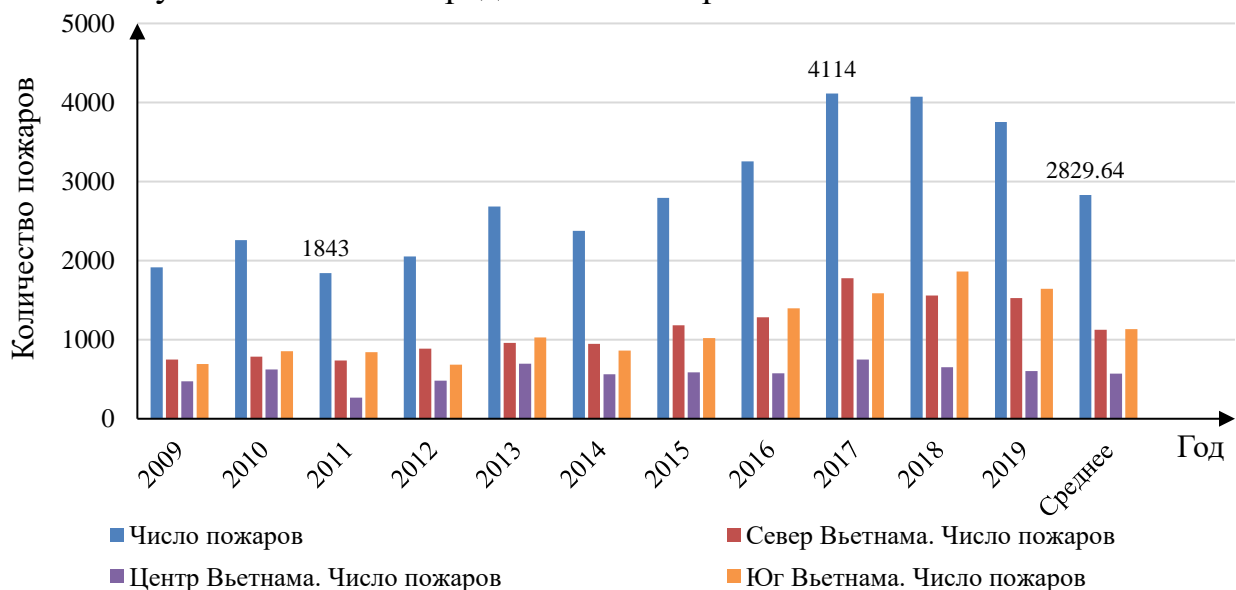


Рис. 1 – Сравнительный анализ количества пожаров в СРВ и трех его частях за 11 лет

В последние годы во Вьетнаме наметились тенденции увеличения числа пожаров и техногенных катастроф, а также тяжести их последствий, обусловленные противоречием между высокими темпами развития народного хозяйства с одной стороны, и недостаточно высоким уровнем организационного и технического развития противопожарной аварийно-спасательной службы и иных служб безопасности с другой стороны.

Проведён сравнительный анализ основных причин пожаров во Вьетнаме. Результаты анализа представлены на рис. 2.

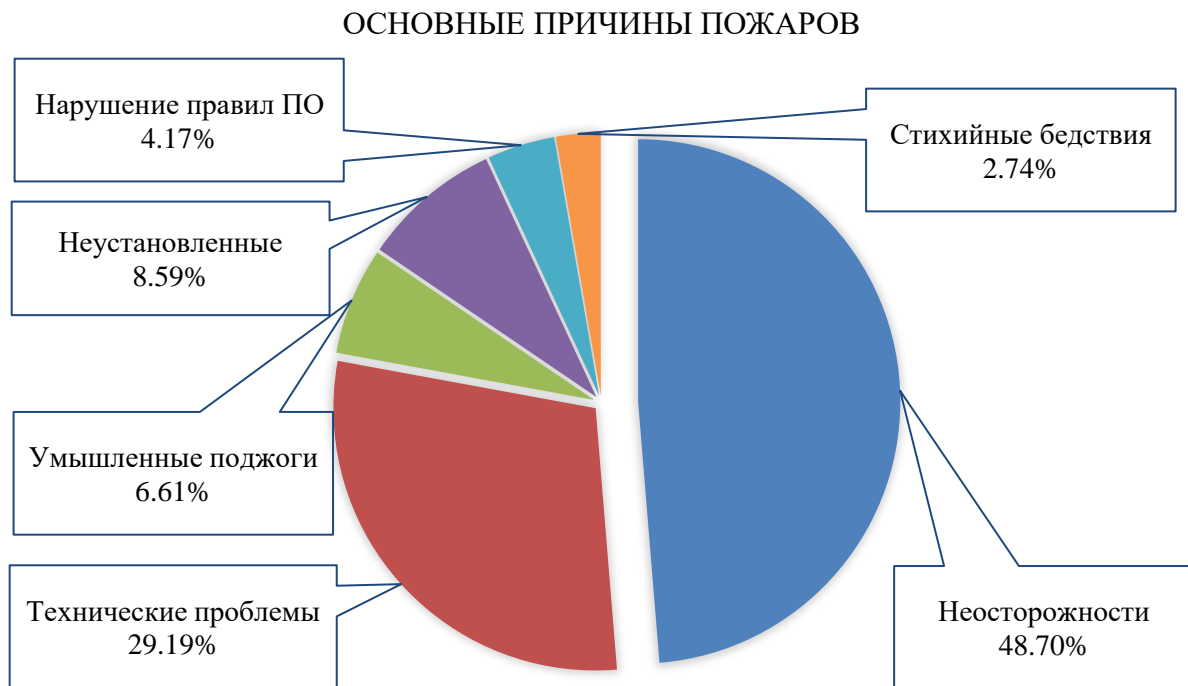


Рис. 2 – Сравнительный анализ основных причин пожаров за 2009 – 2019 гг.

Результаты сравнительного анализа показали, что главными причинами пожаров являются: неосторожное обращение с огнём – 48,7 % общего количества пожаров; технические проблемы - 29,19 %, умышленные поджоги – 6,61 %, нарушение правил пожарной безопасности – 4,17 %, стихийные бедствия – 2,74 %, 8,59 % от неустановленных причин.

Выполнен статистический анализ ЧС и пожаров. С 2009 по 2019 г. в стране зарегистрировано 31126 пожаров. Погибли 1022 и ранены 2558 человек. Ущерб оценивается в 677,51 миллионов долларов, 8239 лесных пожара.

Проведён сравнительный анализ количества погибших во Вьетнаме и его частях. Результаты анализа представлены на рис. 3.

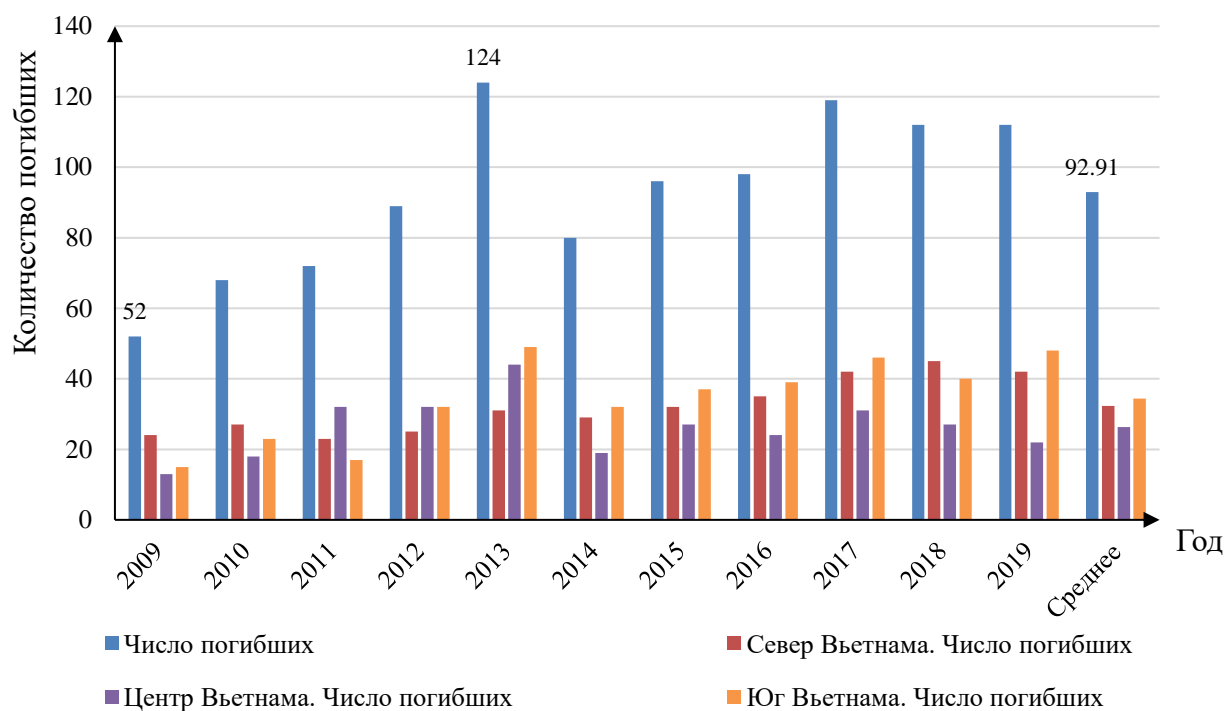


Рис. 3 – Сравнительный анализ количества погибших на пожарах в СРВ и трех его частях за 11 лет

Проведён сравнительный анализ количества травмированных людей во Вьетнаме и его частях. Результаты анализа представлены на рис. 4.

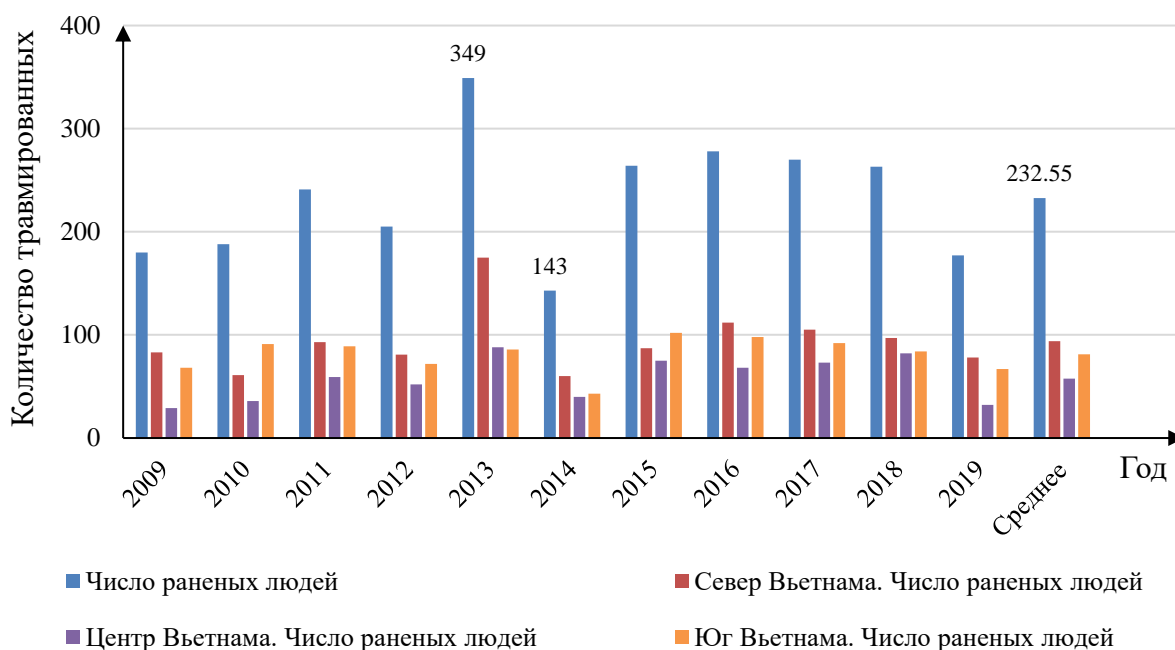


Рис. 4 – Сравнительный анализ количества травмированных людей в СРВ и трех его частях за 11 лет

В мегаполисах Северного Вьетнама (Ханой, Хайфон, Куангнинь) зарегистрировано 10400 пожаров, что составляет 33,44 % от общего числа пожаров. В сельских поселениях зарегистрировано 11203 пожаров, что составляет 36,69 % от общего числа пожаров.

Проведён сравнительный анализ количества осадков (дождь, туман). Результаты анализа представлены на рис. 5.

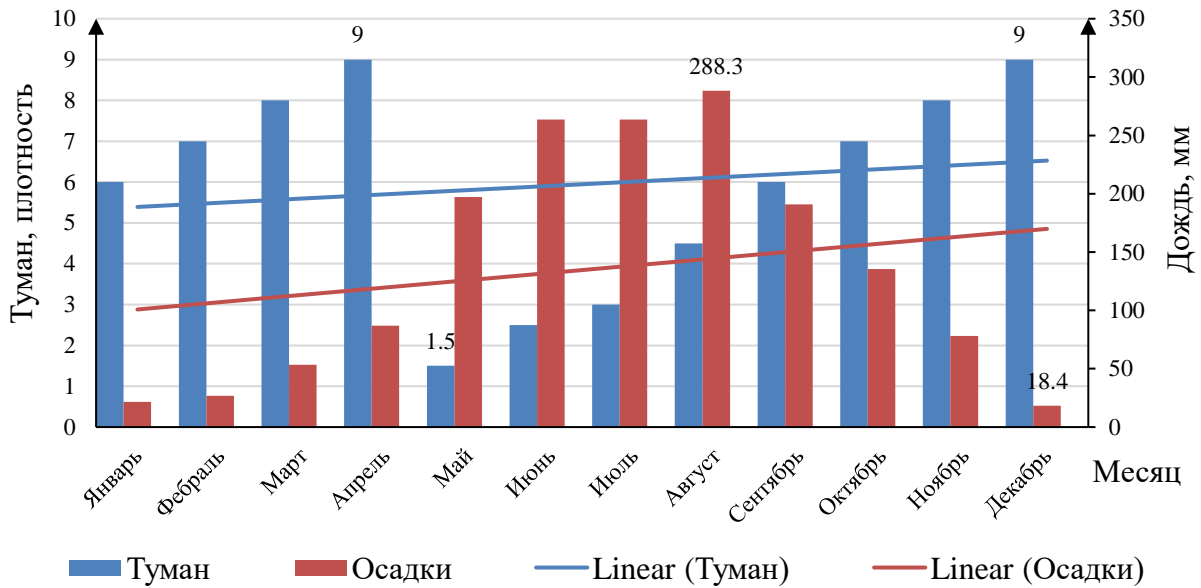


Рис. 5 – Сравнительный анализ осадков

Обеспечение проведения аварийно-спасательных работ (АСР) является одной из важнейших функций. Это комплекс мер, который необходимо предпринять, средства, а также создание условий, способствующих наиболее эффективным действиям в случае возникновения ЧС и пожаров, выполнение планов, программ и проектов по поддержанию надежной работы системы безопасности МОБ Вьетнама. Органы АСР Вьетнама являются частью МОБ Вьетнама. Построена и проанализирована схема организационной структуры управления АСР МОБ Вьетнама (рис. 6).

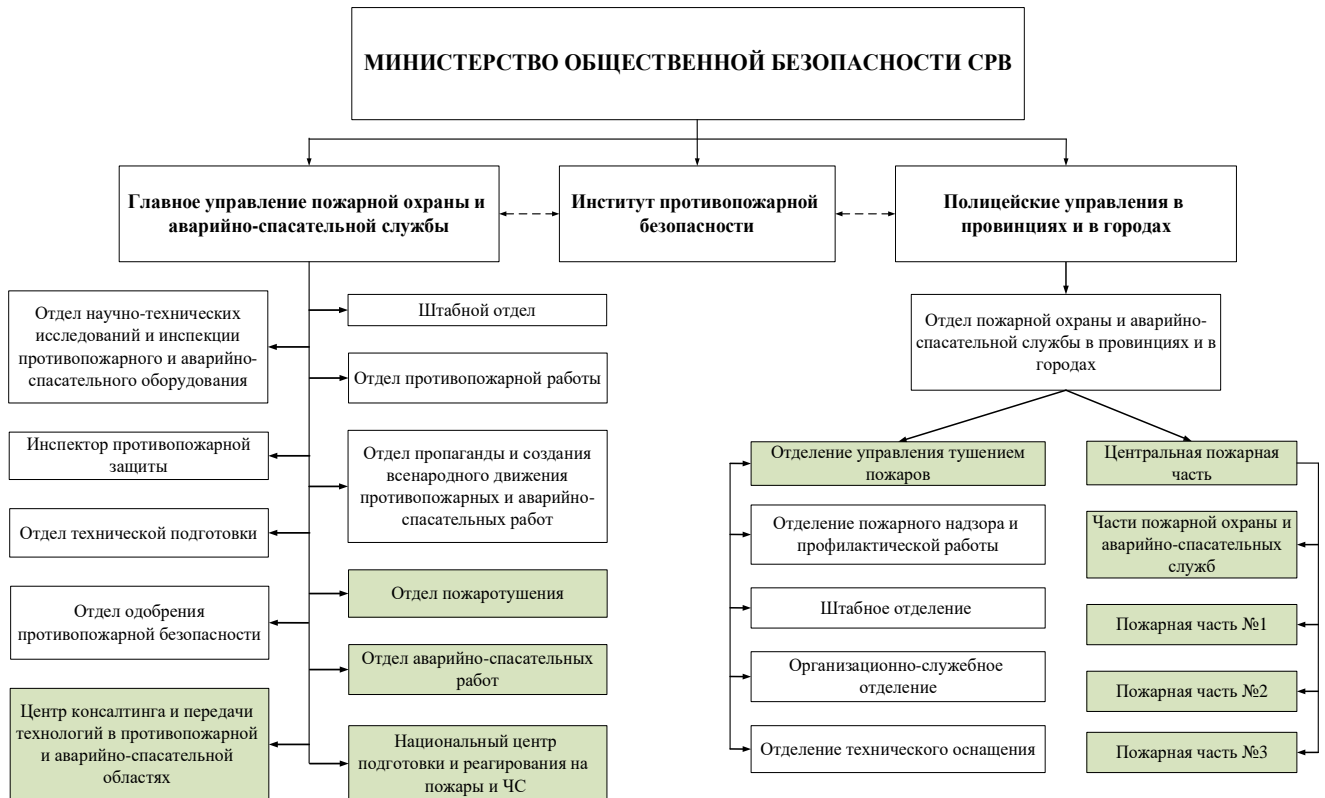


Рис. 6 – Организационная структура управления АСР МОБ Вьетнама

В статье 2 распоряжения премьер-министра СРВ от 28 февраля 2006 г. указывается, что определение специализированных агентств на центральном уровне и консолидация поисково-спасательных управленческих агентств на всех уровнях необходимо для эффективного руководства и управления ПСР, минимизации ущерба в соответствии с требованиями социально-экономического развития Вьетнама.

В п. 2 статьи 6 постановления правительства 30/2017/НД-СР указывается, что Национальный комитет по реагированию на происшествия, стихийные бедствия, ПСР, а также по поиску и спасанию - это междисциплинарное агентство Вьетнама, в функции которого входит оказание помощи правительству и премьер-министру в руководстве, координации действий по реагированию на происшествия, стихийные бедствия, ПСР на национальном, региональном и международном уровнях.

Успешное управление имеющимися в наличии силами и средствами при проведении ПСР невозможно без сочетания различных способов управления. Поэтому в работе предлагается создание моделей и алгоритмов поддержки управления проведением ПСР при использовании различных способов.

Проанализирована организационная структура Национального комитета по реагированию на происшествия, стихийные бедствия, ПСР Вьетнама (рис. 7).

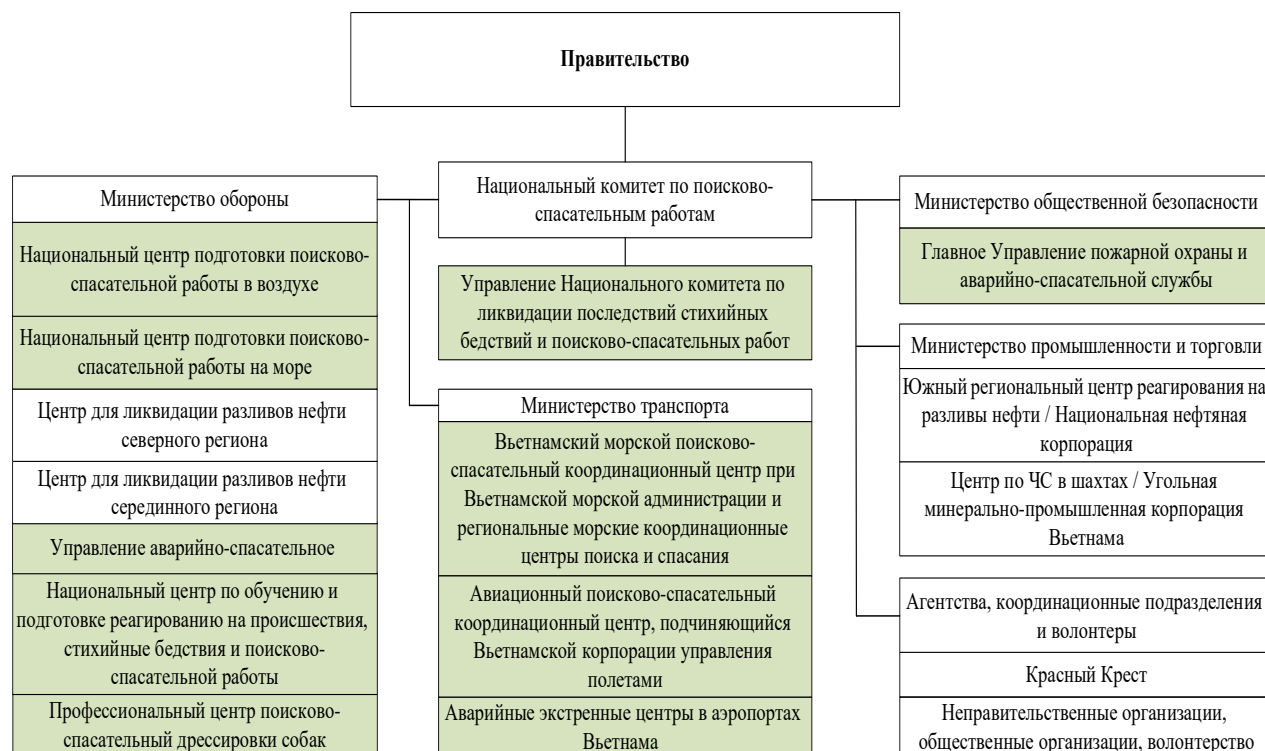


Рис. 7 – Анализ организационной структуры Национального комитета по реагированию на происшествия, стихийные бедствия, ПСР Вьетнама

На основе данного анализа руководитель определяет управленческие задачи при ЧС и пожарах и выбирает подходящие силы, чтобы достичь максимальной эффективности при проведении ПСР.

Проведен системный анализ процесса проведения ПСР с учётом региональных особенностей во Вьетнаме (рис. 8), в результате которого выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс проведения ПСР.

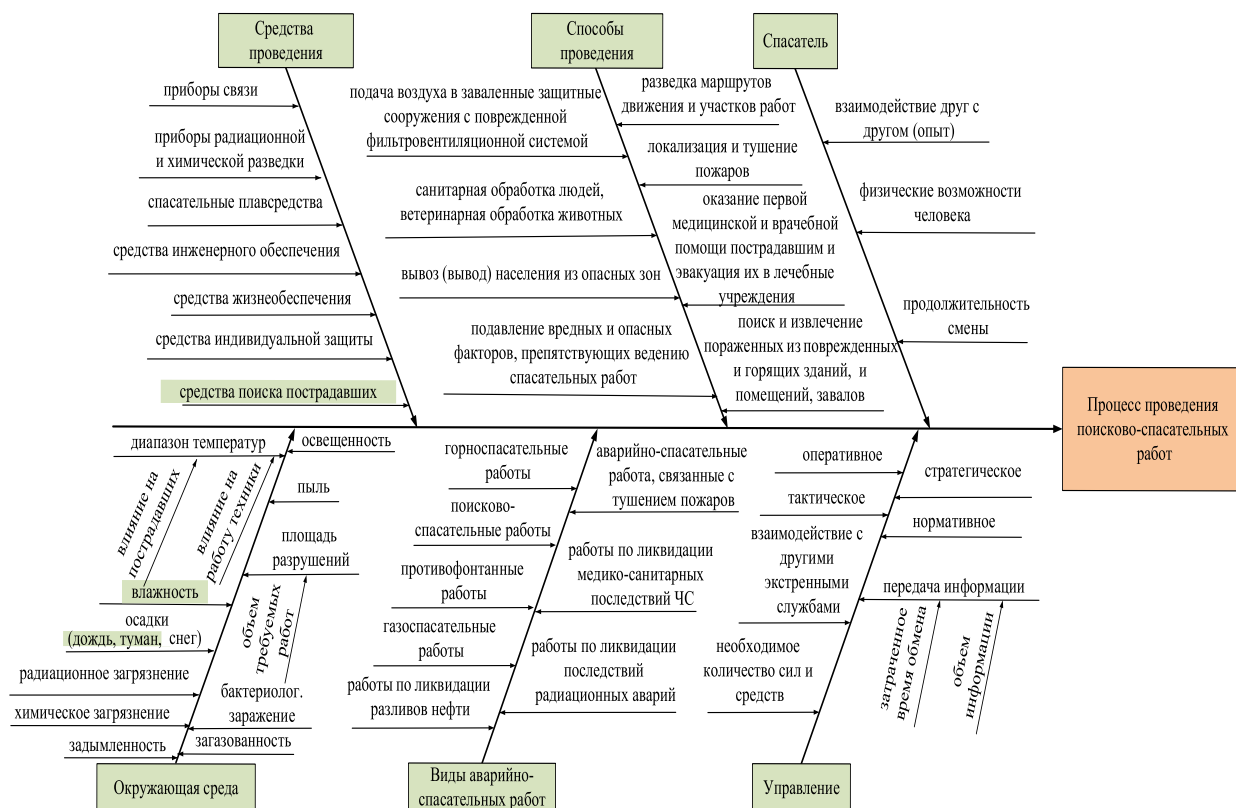


Рис. 8 – Диаграмма системного анализа процесса проведения ПСР с учётом региональных особенностей во Вьетнаме

Результаты анализа процесса проведения ПСР при ЧС и пожарах показал, что необходима разработка информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе ПК для проведения ПСР.

Во второй главе «Модели и алгоритмы поддержки управления проведением поисково-спасательных работ. Разработка программного комплекса» разработана модель определения физического состояния пострадавших при проведении ПСР. Исследование процесса поиска пострадавших под завалами связано с изучением прикладных аспектов теории марковских процессов с дискретными состояниями и цепей Маркова.

Пусть S - некоторый пострадавший с возможными дискретными состояниями $\{S_k\}_{k=1}^n$, который случайным образом время от времени скачком переходит из одного состояния в другое.

Пусть некоторый пострадавший S может находиться лишь в одном из возможных физических состояний $\{S_k\}_{k=1}^n$, а $\xi(t, \omega), t \in T$ – соответствующий марковский процесс с дискретными состояниями. Если для пострадавшего S переход из одного физического состояния в другое возможен лишь в фиксированные моменты времени $t_j, j = 1, 2, \dots$, где $t_1 < t_2 < \dots < t_j < \dots$, то эти моменты времени будут этапами марковского процесса $\xi(t, \omega), t \in T$. А так как в

данном случае $T = \{t_j\}_{j=1}^{\infty}$ и $\xi_j(\omega)\Delta \triangleq \xi(t_j, \omega)$, то имеем дело со случайной последовательностью, которая является цепью Маркова, если для каждого этапа вероятность перехода пострадавшего S из состояния S_k , в любое физическое состояние S_m , не зависит от того, когда и как она попала в состояние S_k .

Если ввести случайное состояние пострадавшего S_k^j , состоящее в том, что после j этапов исходное состояние пострадавшего S находится в состоянии S_k , то для каждого фиксированного $j \geq 1$ имеем полную группу событий $\{S_k\}_{k=1}^n$ т. е.

$$\sum_{k=1}^n P[S_k^j] = 1, j \geq 1. \quad (1)$$

Пусть необходимо обнаружить пострадавшего с использованием четырех поисково-спасательных кинологических расчетов (ПСКР).

Если Δt – интервал между последовательным введением на участок завала ПСКР, а t_1 – время первого введения ПСКР на участок завала, то $t_2 = t_1 + \Delta t, t_3 = t_1 + 2\Delta t, t_4 = t_1 + 3\Delta t$.

Возможные состояния пострадавшего (системы S):

S_1 – пострадавший в сознании, есть возможность кричать, бить по элементам конструкций разрушенного здания и шевелиться;

S_2 – пострадавший в сознании, получил незначительные повреждения, присутствуют небольшие шевеления;

S_3 – пострадавший без сознания, присутствует сердцебиение;

S_4 – пострадавший погиб.

Если в начальный момент времени $t = t_0$ пострадавший S находился в состоянии S_1 , то граф его состояния изображен на рис. 9.

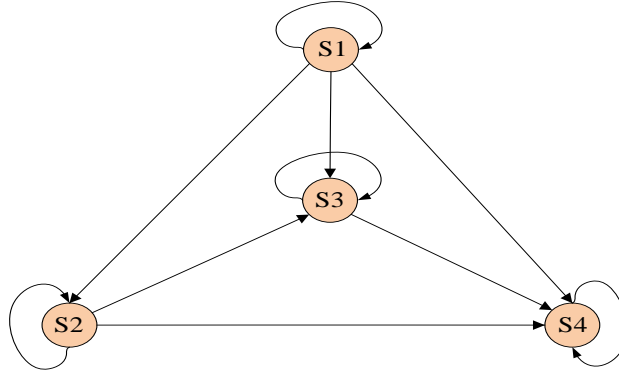


Рис. 9 – Граф состояния пострадавшего

При описании цепи Маркова в процессе поиска пострадавшего под завалами воспользуемся понятиями вероятностей состояний и переходными вероятностями. Введем следующие обозначения.

Пусть $\{S_k\}_{k=1}^n$ – множество возможных состояний пострадавшего S . Вероятность реализации случайного события S_k^j , состоящего в том, что после j этапов пострадавший находится в состоянии S_k , обозначим $p_k(j) \triangleq P[S_k^j]$ и назовем вероятностью состояния пострадавшего. Вектор вероятностей состояний пострадавшего S после j этапов обозначим:

$$p(j) \triangleq (p_1(j)p_2(j)\dots p_n(j))^T, \quad (2)$$

а вектор вероятностей начальных состояний:

$$p(0) \triangleq (p_1(0)p_2(0)\dots p_n(0))^T. \quad (3)$$

Если ввести матрицу-строку:

$$I \triangleq (1 \ 1 \dots 1 \in M_{1n}(\mathbb{R})), \quad (4)$$

то равенство:

$$\left(\sum_{k=1}^n P[S_k^j]\right) = \sum_{k=1}^n p_k(j) = 1, \quad j \geq 0, \quad (5)$$

можно представить в виде:

$$Ip(j) = 1, \quad j \geq 0. \quad (6)$$

Если $\{S_k\}_{k=1}^n$ – множество возможных состояний пострадавшего S , а S_k^j – случайное событие, состоящее в том, что после j этапов пострадавший находится в состоянии S_k , то условную вероятность события S_k^j при условии S_m^{j-1} обозначим:

$$p_{mk}^j \triangleq P[S_k^j / S_m^{j-1}]. \quad (7)$$

Применение цепи Маркова в процессе поиска пострадавших под завалами позволяет сократить время на принятие решения по выбору способа поиска и обнаружения пострадавших до минимального, и как следствие, увеличивать возможность извлечения живых пострадавших из глубины завала в связи с тем, что использование ПСКР наиболее эффективно на максимально ранних этапах спасательных работ, так как вероятность остаться живым по мере увеличения пребывания в глубине завала уменьшается.

При помощи данного графа лицо, принимающее решение (ЛПР) определяет возможные исходы состояния пострадавших и в сочетании с существующими силами и средствами принимает оптимальные решения для организации поиска пострадавших в кратчайшие сроки.

Разработаны модель и алгоритм поиска пострадавших при ЧС и пожарах с использованием беспилотных летательных аппаратов. Для идентификации объектов в помещении звену газодымозащитной службы (ГДЗС) предлагается использовать инфракрасные технологии с использованием модели триангуляции Делоне, что позволит сохранять пространственную ориентацию в процессе проведения ПСР. Процесс поиска пострадавших при ЧС и пожарах с использованием робототехнических комплексов на основе информационно-аналитических технологий строится по иерархической структуре.

В задаче сканирования плоскости по Джарвису время работы составляет $O(nh)$, где h – количество вершин $CH(Q)$. В случае, когда h равно $O(\lg n)$, сканирование по Джарвису (рис. 10) выполняется быстрее, чем по Грэхему. Поэтому оно используется в модели информационной системы поддержки принятия управленческих решений при проведении ПСР в условиях пожара.

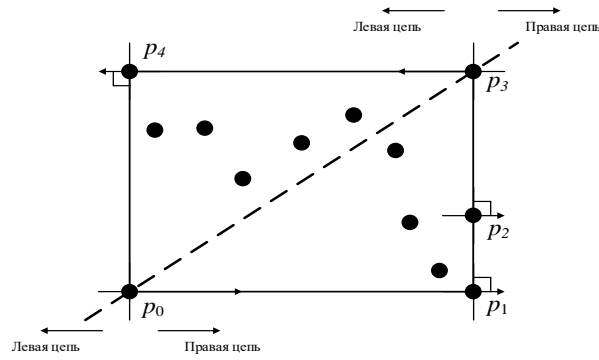


Рис. 10 – Выпуклая оболочка n - угольника сканирования по Джарвису

Воспользуемся диаграммой Вороного, которая позволяет описывать пространственное отношение между близко расположенными точками. Это множество соединенных многоугольников, полученных из точек. Каждая линия области $V(p)$ Вороного находится посередине между двумя точками p (рис. 11).

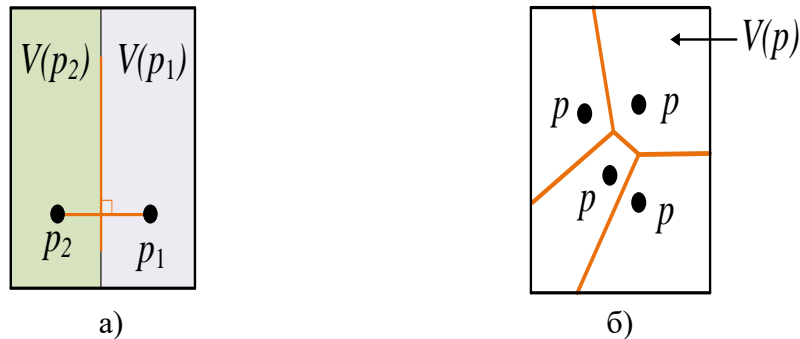


Рис. 11 – Описание пространственного отношения между близко расположенными точками (а - диаграмма Вороного для двух точек p_1 и p_2 ; б - каждая линия области $V(p)$ Вороного находится посередине между двумя точками)

Далее воспользуемся триангуляцией Делоне, обратной диаграмме Вороного. Построена модель плоскости (рис. 12), которая состоит из линий от каждой точки до ее ближайших соседей, причем каждая линия перпендикулярна пересекаемой ею линии Вороного. На примере рассматриваемой модели плоскости возможно решение задачи поиска пострадавших в здании (промышленной зоне), природной среде, при ЧС и пожарах.

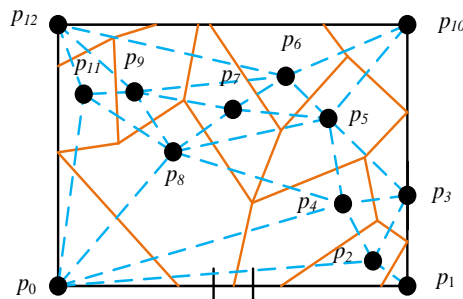


Рис. 12 – Модель плоскости

На рис. 12 пунктиром обозначена триангуляция Делоне, где каждая линия Делоне соответствует одному и только одному ребру Вороного. Построена Диаграмма Вороного, которая представлена на рис. 13.

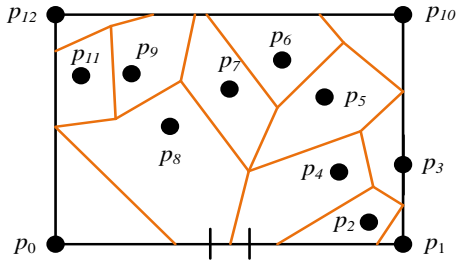


Рис. 13 – Диаграмма Вороного на примере модели плоскости

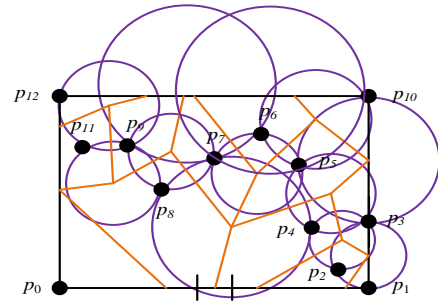


Рис. 14 – Основные окружности триангуляции Делоне

Заполнив плоскость размерностью $m \times n$ полученными треугольниками, мы исследуем плоскость поэтапно. Получив треугольник с наименьшей площадью, получим три ближайшие точки, которые необходимо учитывать при поиске пострадавших. На примере модели плоскости обозначим основные окружности триангуляции Делоне (рис. 14). Генерация диаграммы Вороного зависит от времени, за которое получены исходные данные.

Для построения диаграммы Вороного используется самый быстрый способ её построения – алгоритм Форчуна. Применим серединный перпендикуляр отрезка, соединяющий некоторую пару точек.

Этот перпендикуляр разбивает плоскость на две полуплоскости $V(p_1)$ и $V(p_2)$, причем область Вороного точки p_1 целиком содержится в одной из них, а область точки p_2 - в другой. Область Вороного $V(p)$ точки p совпадает с пересечением всех полуплоскостей $V(p_2)$

$$V(p) = \bigcap_{q \in S/\{p\}} H_{pq}. \quad (8)$$

Алгоритм Форчуна основан на применении заметающей прямой. Заметаящая прямая – это вспомогательный объект, представляющий собой вертикальную прямую линию. На каждом шаге алгоритма диаграмма Вороного построена для множества, состоящего из заметающей прямой и точек слева от нее. При этом граница между областью Вороного, прямой и областями точек состоит из отрезков парабол (так как геометрическое место точек, равноудаленных от заданной точки и прямой – это парабола). Прямая движется слева направо. Каждый раз, когда она проходит через очередную точку, эта точка добавляется к уже построенному участку диаграммы. Добавление точки к диаграмме при использовании двоичного дерева поиска имеет сложность n , всего точек $O(\log n)$, а сортировка точек по x -координате может быть выполнена за $O(n \log n)$ шагов, поэтому вычислительная сложность алгоритма Форчуна равна $O(n \log n)$.

Примем на примере модели плоскости $P = \{p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}\}$ (рис. 15 (а) – 15 (м)) следующее расположение точек:

- множество пространственных ограничений $P_1 = \{p_0, p_1, p_3, p_{10}, p_{12}\}$;
- препятствия $P_2 = \{p_2, p_5, p_7, p_8, p_9, p_{11}\}$;
- пострадавшие $P_3 = \{p_4, p_6\}$;
- береговая линия АВ;
- заметаящая прямая включает в себя точку p и точку c (рис. 15 б).

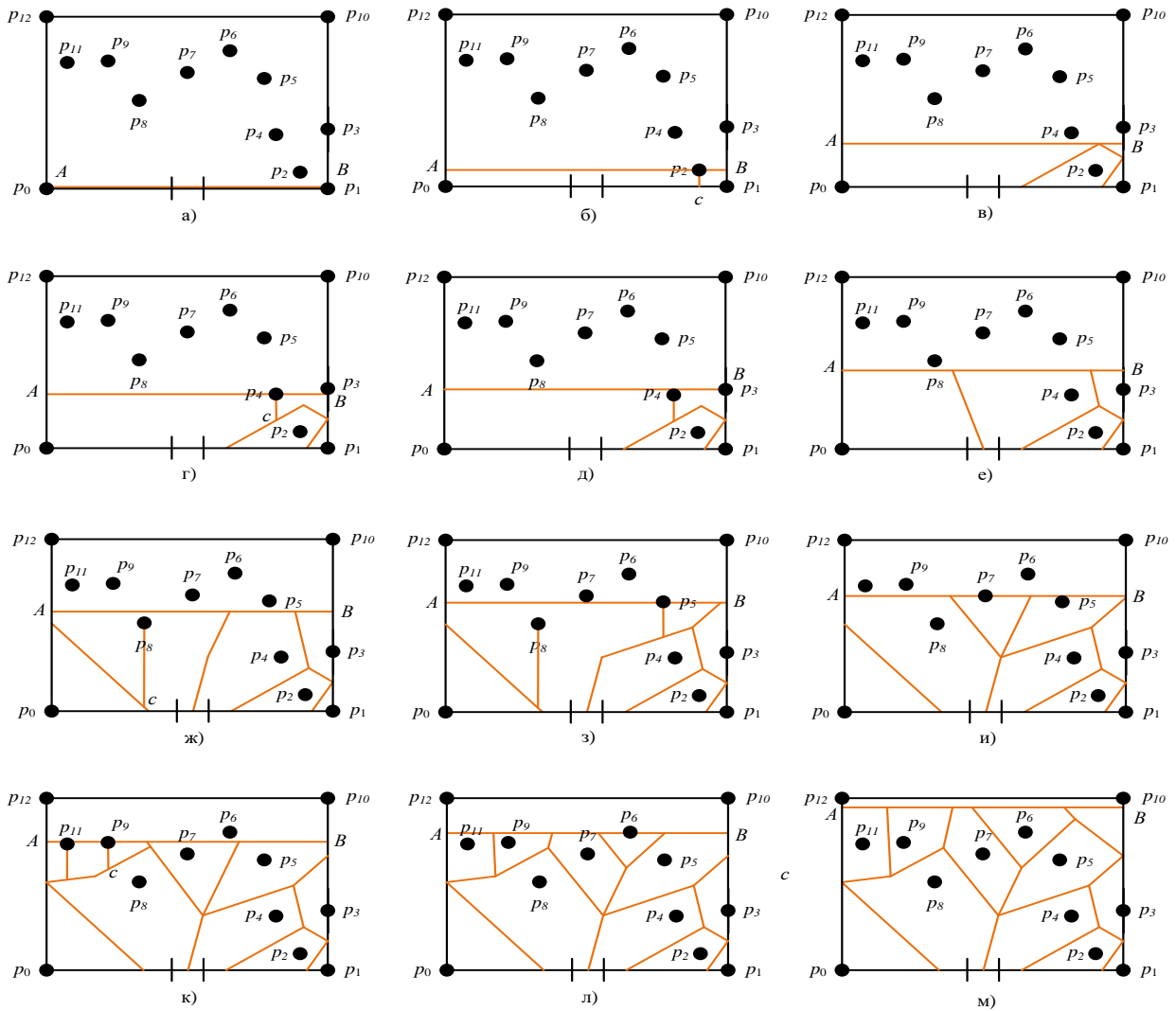


Рис. 15 – Построение диаграммы Вороного алгоритмом Форчуна на примере модели плоскости

На рис. 16. представлен конечный результат построения диаграммы Вороного с помощью алгоритма Форчуна на примере модели плоскости. Из рис. 16 видно, что береговая линия АВ совпала с точками (пространственным ограничением) $P = \{p_{10}, p_{12}\}$.

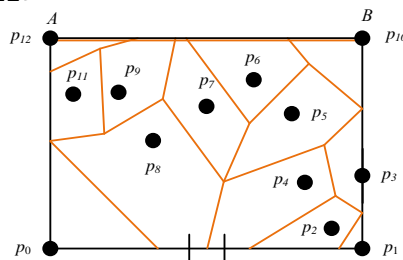


Рис. 16 – Конечный результат построения диаграммы Вороного алгоритмом Форчуна на примере модели плоскости

В работе предложено использовать в алгоритме поиска пострадавших при ЧС и пожарах с применением диаграммы Вороного следующие элементы: пространственные ограничения, препятствия, пострадавшие, береговая линия, заметающая прямая. Разработана блок-схема алгоритма поиска пострадавших при ЧС и пожарах с использованием диаграммы Вороного, которая представлена на рис. 17.

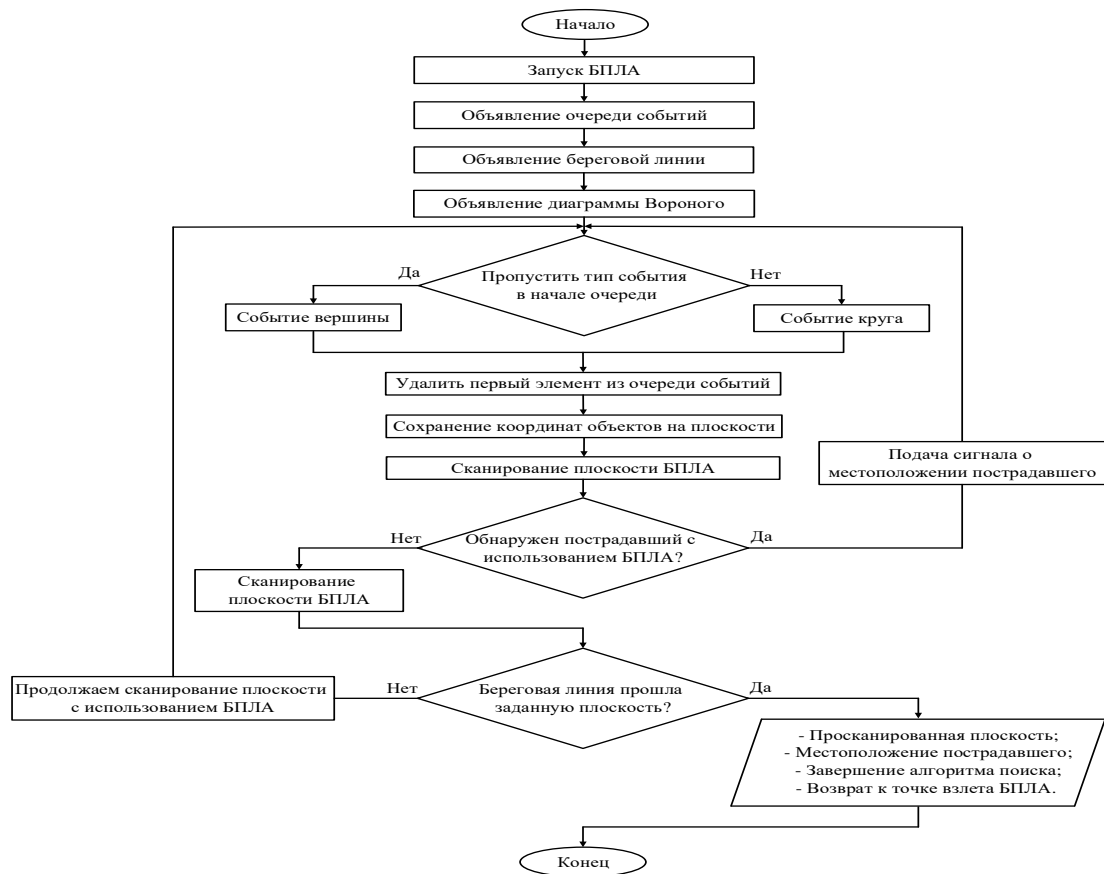


Рис. 17 – Блок-схема алгоритма поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием диаграммы Вороного

Исходя из результатов анализа языков программирования можно сделать вывод, что для разработки ПК для проведения ПСР подходят языки с возможностью их использования в браузерах, так как для быстрого прототипирования оптимальна будет динамическая типизация.

Из проведенного обзора инструментов разработки следует, что TypeScript, по сравнению с аналогичными языками программирования подходит для проектирования ПК для проведения ПСР.

Алгоритм поиска пострадавших при ЧС и пожарах с использованием диаграммы Вороного оказывает поддержку ЛПП по планированию и направлению сил и спасательных средств для наиболее эффективного достижения целей при проведении ПСР.

К уже известным видам поиска пострадавших в зданиях, природной среде (дым, туман, дождь) при ЧС и пожарах предлагается использовать разработанную модель и алгоритм поиска пострадавших при ЧС и пожарах с использованием диаграммы Вороного. Предлагается использовать эти алгоритмы группами поиска при ЧС и пожарах; в промышленном здании - звеном ГДЗС, укомплектованным микро-беспилотным летательным аппаратом, оснащенным камерой с КИД; в природной среде – группой беспилотных летательных аппаратов с КИД.

Разработанный алгоритм поиска пострадавших при ЧС и пожарах с использованием диаграммы Вороного можно использовать как в составе информационных систем предупреждения и ликвидации ЧС и пожаров (стационарных систем), так и в составе мобильных систем при проведении ПСР.

Разработана математическая модель концептуальной схемы БД ТПС на основе теории множеств. Определен список вводимых данных, перечень которых установлен на этапе формулирования требований к специальному программному обеспечению:

$$S_{ex} = (a_{ex1}, a_{ex2}, \dots, a_{exn}), \quad (9)$$

где $a_{ex1}, a_{ex2}, \dots, a_{exn}$ – поля БД,

и список выходных данных, установленный на том же этапе:

$$S_{вых} = (a_{вых1}, a_{вых2}, \dots, a_{выхn}), \quad (10)$$

где $a_{вых1}, a_{вых2}, \dots, a_{выхn}$ – также поля БД.

S_{ex} является подмножеством $S_{вых}$ в общем случае. Часть данных из $S_{вых}$ может быть получена путём расчётов и не войдет в S_{ex} , а часть – пополнит список S_{ex} . Обозначив список дополнений как:

$$S_{дон} = (a_{дон1}, a_{дон2}, \dots, a_{донn}), \quad (11)$$

где $a_{дон1}, a_{дон2}, \dots, a_{донn}$ – дополнительные поля БД;

$$S_{расч} = (a_{расч1}, a_{расч2}, \dots, a_{расчn}), \quad (12)$$

где $a_{расч1}, a_{расч2}, \dots, a_{расчn}$ – расчетные поля БД, получена формула:

$$S_{вых} = S_{ex} \cup S_{расч} \cup S_{дон}. \quad (13)$$

Если исключить из (13) расчетные поля, то получим отсутствие транзитивности – требование, необходимое для того, чтобы БД была выражена в нормальной форме. Поэтому окончательная информационная формула ТПС, содержащая список полей, представлена в виде:

$$S_{вых} = S_{ex} \cup S_{дон}. \quad (14)$$

Впоследствии данный список может уточняться по мере разработки ТПС. При этом $S_{вых}$ является множеством полей БД ТПС. Построена математическая модель концептуальной схемы БД ТПС на основе теории множеств, которая позволяет выполнить оценку устойчивости информационной системы поддержки принятия управленческих решений на основе ПК для проведения ПСР.

На основе проведенного обзора БД делаем вывод о том, что для создания БД ТПС подходит PostgreSQL потому что БД обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогами: тип (объектно-реляционная); лицензия (свободное и открытое ПО, разрешительная лицензия); исходный код (открытый).

Разработана функциональная структура информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе ПК для проведения ПСР (рис. 18).

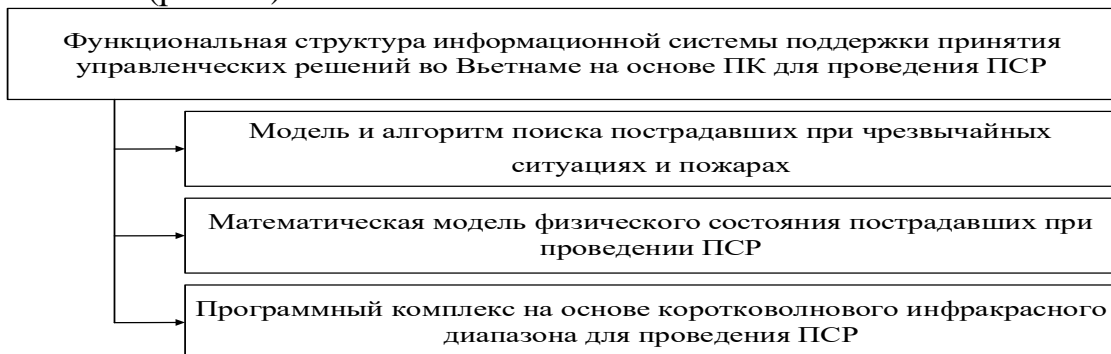


Рис. 18 – Функциональная структура информационной системы поддержки принятия управленческих решений во Вьетнаме на основе ПК для проведения ПСР

В третьей главе «Информационная система поддержки принятия управленческих решений при проведении поисково-спасательных работ в условиях дыма, тумана, дождя», разработан и исследован ряд алгоритмов и программ, предназначенных для использования в составе информационной системы поддержки принятия управленческих решений на основе ПК для проведения ПСР.

Поддержка принятия управленческих решений при проведении ПСР в условиях дыма, тумана, дождя является одним из важнейших путей снижения времени обнаружения пострадавших. Использование в практической деятельности информационных технологий, связанных с поддержкой принятия управленческих решений, позволяет принимать обоснованные профессиональные решения, снизить человеческий (эмоциональный) фактор, а также повысить качество управления силами и средствами, сократить время поиска.

Определена взаимосвязь условий, действий пожарных и программных средств при проведении ПСР в условиях дыма, тумана, дождя, включающая следующие анализируемые параметры: анализ (условия), действия пожарных, информационная система. На основе полученных результатов разработана блок-схема алгоритма поддержки принятия управленческих решений на основе ПК для проведения ПСР в условиях дыма, тумана, дождя, которая представлена на рис. 19.

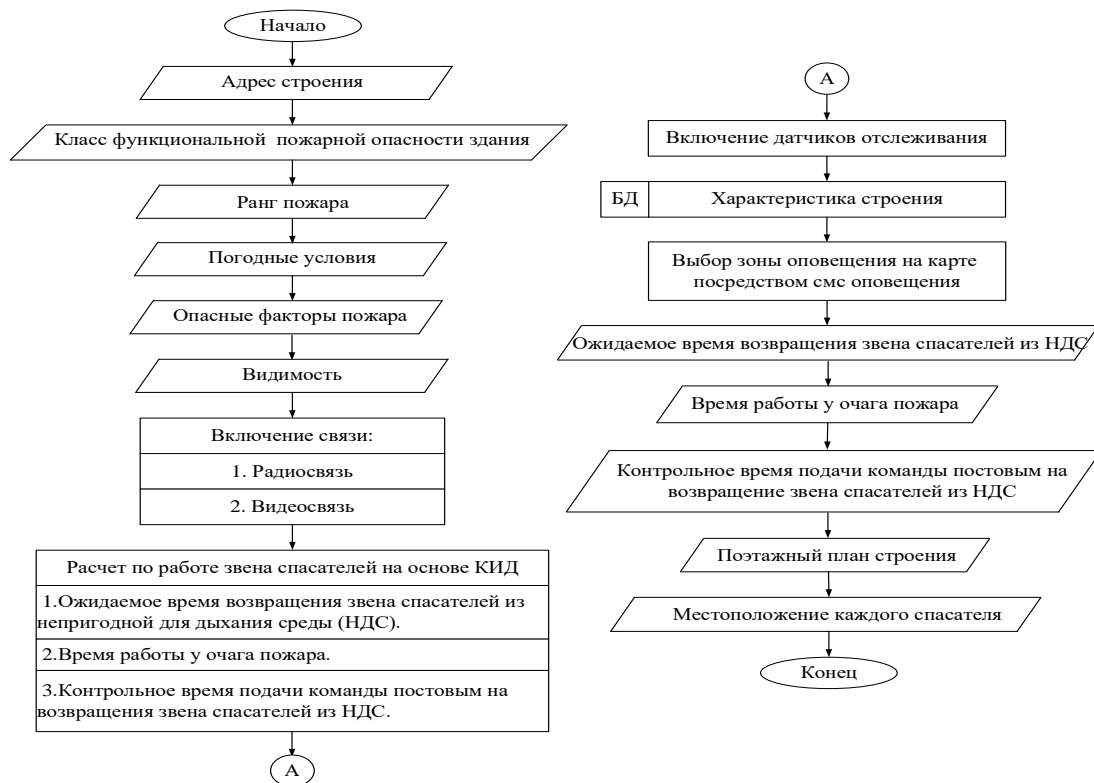


Рис. 19 – Блок-схема алгоритма поддержки принятия управленческих решений на основе ПК для проведения ПСР в условиях дыма, тумана, дождя

На основе предложенной блок-схемы алгоритма поддержки принятия управленческих решений при проведении ПСР в условиях дыма, тумана, дождя разработана модель функциональной структуры информационной системы поддержки принятия управленческих решений при проведении ПСР в условиях дыма, тумана, дождя, которая представлена на рис. 20.

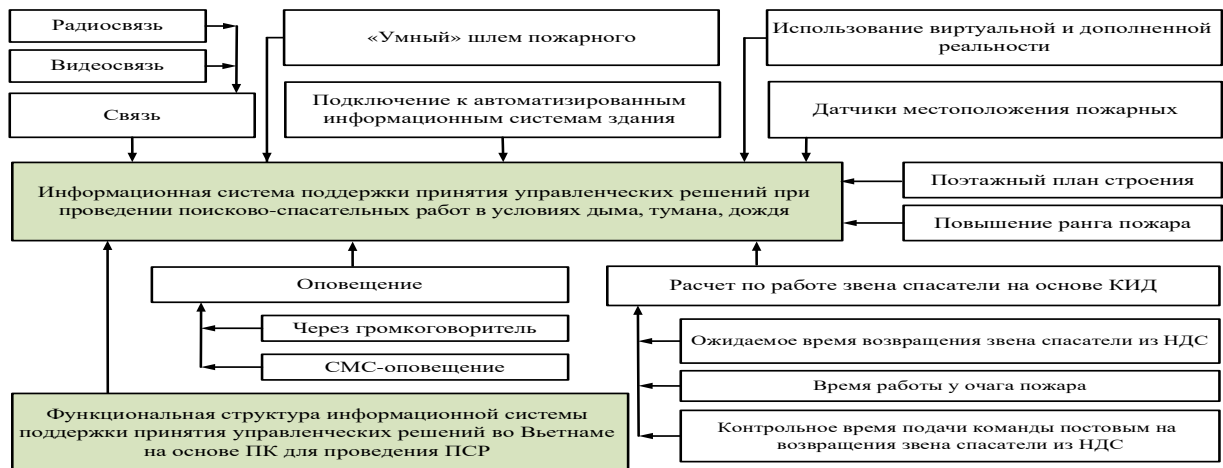


Рис. 20 – Модель информационной системы поддержки принятия управленческих решений при проведении ПСР в условиях дыма, тумана, дождя

Предполагается, что предложенная модель информационной системы поддержки принятия управленческих решений при проведении ПСР в условиях дыма, тумана, дождя, входит в состав организационной структуры Национального комитета по реагированию на происшествия, стихийные бедствия, ПСР Вьетнама (рис. 7). Информационная система должна быть проста в использовании, отображать такие характеристики, как местонахождение спасателей, радио и видеосвязь, поэтажный план строения, подсистему оповещения, расчет по работе звена спасателей, возможность подключения к автоматизированным информационным системам здания.

Управление входными и выходными данными информационной системы поддержки принятия управленческих решений при проведении ПСР, полученными во время работы, помогает руководителю принять решение с максимальной эффективностью, также позволяет сократить время для поиска пострадавших. Разработана организационно-функциональная схема обнаружения пострадавших с использованием ПК, которая представлена на рис. 21.

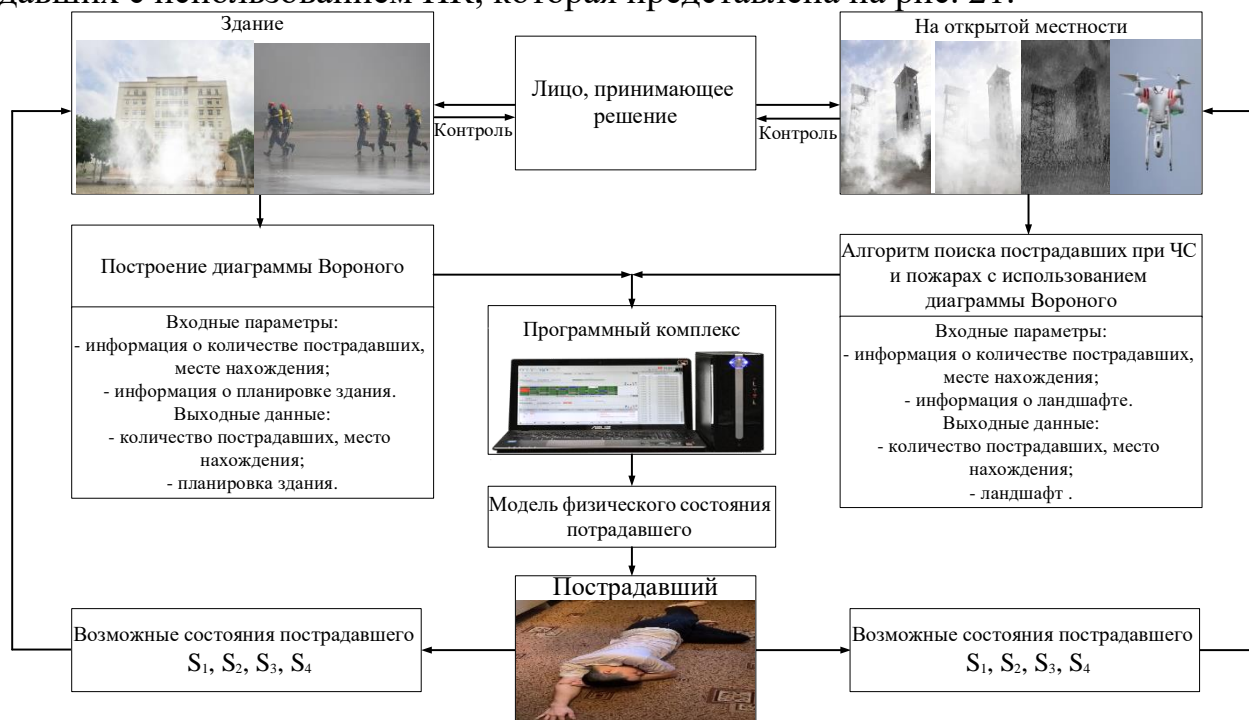


Рис. 21 – Организационно-функциональная схема обнаружения пострадавших с использованием ПК

Разработан ПК для проведения ПСР при ЧС и пожарах с использованием БПЛА. Интерфейс основного главного экрана представлен на рис. 22.

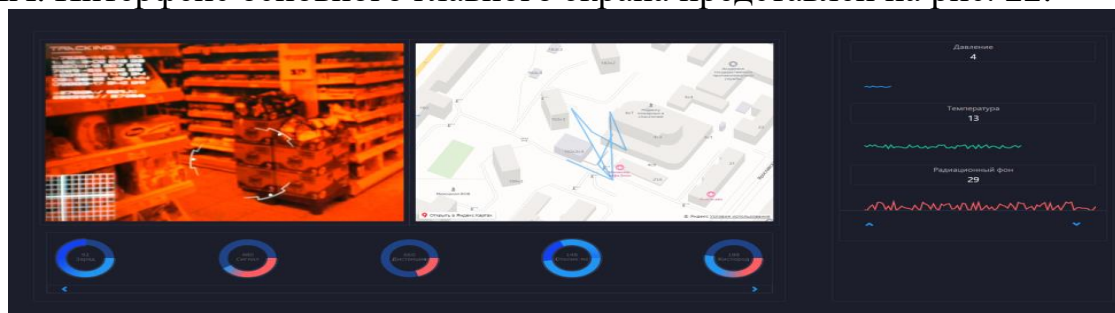


Рисунок 22 – Интерфейс основного главного экрана

Проведены полевые испытания программных средств обнаружения пострадавших на основе КИД на испытательном полигоне МОБ Вьетнама в г. Хоабинь с 12.01.2020 г. по 25.02.2020 г. При этом получены результаты измерения дальности обнаружения пострадавших на открытой местности в условиях дыма, тумана, дождя (рис. 23).



Рис. 23 – Результаты измерений на трёх участках испытательного полигона МОБ Вьетнама в г. Хоабинь

Характеристики ПК для проведения ПСР на основе КИД представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики ПК для проведения ПСР на основе КИД

Механический	
Размеры	Серия ENC: 2,0 x 2,0 x 2,43 дюйма, 50,8 x 50,8 x 61,7 мм OEM Series: 1,65 x 1,60 x 1,60 дюйма, 41,9 x 40,6 x 40,6 мм
Вес	≤ 235 г в комплекте, ≤ 120 г OEM
Крепление объектива	M42x1 крепление
Разъем для подключения камеры	3M SDR26 Разъем закрыт
Pixel Pitch	2,5 мкм
Массив фокальной плоскости	1280 x 1024 пикселей
Активная область	16,0 мм x 12,8 мм x 20,5 мм по диагонали
Рабочая температура корпуса	От -40 °C до 70 °C
Температура хранения	От -54 °C до 85 °C
влажность	Относительная влажность 95%
Требования к питанию	Напряжение постоянного тока: + 8-16 В Мощность: ≤ 3,0 Вт при 20 °C (температура корпуса), ≤ 8,5 Вт максимум

Функциональный шок, Случайная вибрация, Тепловой шок, Комбинированная температура / высота / влажность, Ускорение	MIL-STD-810G совместимый
Оптический фактор заполнения	100 %
Спектральный отклик	Стандартный, от 0,9 до 1,7 мкм, NIR / SWIR, от 0,7 до 1,7 мкм, VIS / SWIR от 0,5 до 1,7 мкм.
Квантовая Эффективность	Стандарт, $\geq 65\%$ от 1 мкм до 1,6 мкм, NIR / SWIR, $\geq 65\%$ от 0,9 мкм до 1,6 мкм, VIS / SWIR, $\geq 65\%$ от 0,7 мкм до 1,6 мкм
Средняя обнаруживаемость, D *	$2,8 \times 10^{13} \text{ см} \sqrt{\text{Гц}} / \text{Вт}$ (типично)
Шумовое эквивалентное излучение *	$1,2 \times 10^9$ фотон / $\text{см}^2 \cdot \text{s}$
Шум (RMS) *	25 электронов (типично)
Динамический диапазон**	1850: 1
работоспособность	$\geq 99\%$
Время экспозиции ***	От 30 мкс до 16,5 мс
Коррекция изображения	2 точки (смещение и усиление) пиксель за пикселем, выбирается пользователем
Формат цифрового выхода	12-битная базовая камера Link®
Формат аналогового выхода	N / A
Частота кадров цифрового выхода	60 кадров в секунду
Режим сканирования	Непрерывный или 3 внешних запускаемых режима
* $\lambda = 1,55 \text{ мкм}$, время экспозиции = 16,5 мс, заданное значение ТЕС 17 °С, высокое усиление, без объектива, цифровое усиление x1 с усилением, АРУ и коррекцией выключены.	
** В настройках OPR с высоким динамическим диапазоном, 17 °С. Способен достичь 750:1 при настройке OPR с максимальной чувствительностью.	
*** Стандартная конфигурация Время экспозиции = 200 мкс при настройке OPR с наименьшей чувствительностью.	

В результате испытаний ПК для проведения ПСР на основе КИД сформулированы выводы:

1. Не выявлено ложных срабатываний ни на одном из трёх участков испытательного полигона МОБ Вьетнама в г. Хоабинь.

2. Обнаружен пострадавший на участке № 1 испытательного полигона в условиях дыма:

- при визуальном поиске дальность обнаружения составила 10 м, а при проверке ПК для проведения ПСР на основе КИД дальность обнаружения составила 1400 м;

3. Обнаружен пострадавший на участке № 2 испытательного полигона в условиях тумана:

- при визуальном поиске дальность обнаружения составила 100 м, а при проверке п ПК для проведения ПСР на основе КИД дальность обнаружения составила 2500 м;

4. Обнаружен пострадавший на участке № 3 испытательного полигона под дождём:

- при визуальном поиске дальность обнаружения составила 500 м, а при проверке ПК для проведения ПСР на основе КИД дальность обнаружения составила 2300 м;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена научная задача по разработке моделей и алгоритмов поддержки управления проведением поисково-спасательных работ во Вьетнаме. Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Проведен анализ проведения поисково-спасательных работ с учётом региональных особенностей Вьетнама.

2. Разработана математическая модель физического состояния пострадавших при проведении поисково-спасательных работ на основе графов состояния пострадавшего и марковских процессов, что позволяет сократить время на принятие решения по выбору способа поиска и обнаружения пострадавших и увеличить вероятность извлечения живых пострадавших из завалов.

3. Разработаны модель и алгоритм поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием диаграммы Вороного, позволяющие осуществлять поиск и обнаружение пострадавших в условиях дыма, тумана, дождя.

4. Разработана математическая модель концептуальной схемы базы данных типовой программной системы информационной системы поддержки принятия управленческих решений на основе программного комплекса для проведения поисково-спасательных работ.

5. Разработана информационная система поддержки принятия управленческих решений на основе программного комплекса, позволяющая визуализировать нахождение пострадавших в условиях дыма, тумана, дождя. Составлен и отлажен комплекс машинных программ, реализующих эти модели и алгоритмы, зарегистрированный Роспатентом.

6. Проведены полевые испытания программных средств обнаружения пострадавших на основе приборов коротковолнового инфракрасного диапазона на испытательном полигоне Министерства общественной безопасности Вьетнама, подтвердившие работоспособность и эффективность моделей, алгоритмов, программ и программных средств.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих периодических изданиях из перечня ВАК

1. До Хоанг Тхань. Оценка устойчивости специального программного обеспечения автоматизированных интегрированных систем комплексной безопасности объектов [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, И.М. Тетерин, До Хоанг Тхань [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2018. – № 2 (78). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2018-2/01-02-18.ttb.pdf>.

2. До Хоанг Тхань. Поиск газодымозащитной службой пострадавших с использованием инфракрасных технологий на основе алгоритма определения выпуклой оболочки [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, А.В. Мокшанцев, До Хоанг Тхань [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 3 (85). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-3/05-03-19.ttb.pdf>.

3. До Хоанг Тхань. Модель и алгоритм поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием диаграммы Вороного [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, А.В. Мокшанцев, До Хоанг Тхань // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 4 (86). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-4/11-04-19.ttb.pdf>.

4. До Хоанг Тхань. Модели и алгоритмы автоматизации поддержки управления проведением поисково-спасательных работ [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, А.В. Мокшанцев А.В., До Хоанг Тхань [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2020. – № 3 (89). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2020-3/07-03-20.ttb.pdf>.

Монографии

5. До Хоанг Тхань. Информационно-аналитические технологии в работе пожарно-спасательных формирований с использованием радаров и инфракрасных технологий [Текст]: монография / А.В. Мокшанцев, До Хоанг Тхань, И.В. Самарин; под общ. ред. д.т.н., проф. Н.Г. Топольского. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – 163 с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

6. До Хоанг Тхань. Программный комплекс расчета сил и средств пожарно-спасательных подразделений для поиска пострадавших под завалами при пожарах и чрезвычайных ситуациях / А.В. Мокшанцев, И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, До Хоанг Тхань // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662319 от 5 октября 2018 года.

Иные публикации по теме диссертационной работы

7. До Хоанг Тхань. О физическом состоянии пострадавших при проведении поисковых работ [Текст] / А.В. Мокшанцев, До Хоанг Тхань, Д.С. Береснев // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. статей по материалам IV Всероссийской науч.-практической конференции с международным участием 15-16 дек. 2015 г.: в 2-х ч. ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж. – 2015. – С. 375–378.

8. До Хоанг Тхань. Специальное программное обеспечение автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств [Текст] / Н.Г. Топольский, До Хоанг Тхань [и др.] // Материалы 25 международной научно-технической конференции «Системы безопасности 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2016. – С. 569–571.

9. До Хоанг Тхань. Алгоритм принятия решений при поиске пострадавших под завалами [Текст] / А.В. Мокшанцев, До Хоанг Тхань, А.Т. Мамаев // Инновационные методы исследований в технике и технологиях: Сборник статей по итогам международной научно-практической конференции (Магнитогорск, 18 сентября 2017). – Стерлитамак: АМИ. – С. 39–41.

10. До Хоанг Тхань. Модель информационной системы поддержки принятия управленческих решений при проведении поисковых работ в условиях пожара [Текст] / А.В. Мокшанцев, Н.Г. Топольский, До Хоанг Тхань // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2018. – С. 543–547. ISBN 978-5-9229-0170-3.

11. До Хоанг Тхань. Анализ проведения аварийно-спасательных работ [Текст] / До Хоанг Тхань, А.В. Мокшанцев, Д.С. Береснев // Материалы 8-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности 2019». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2019. – С. 147–151.

Подписано в печать 30.11.2020 г. Формат бумаги 60×90 1/16.

Печать офсетная. Тираж 100 экз. Заказ № 127.