

УДК 004.021

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА НА КРУПНЫХ ПОЖАРАХ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

А. В. КУЗНЕЦОВ, И. В. БАГАЖКОВ, А. В. ЕРМИЛОВ, С. Н. НИКИШОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru, big-99@mail.ru, skash_666@mail.ru, mordov5988@mail.ru

В статье рассматривается процесс управления ресурсами при тушении пожаров в арктической зоне на складах лесоматериалов, где экстремальные условия требуют принципиально новых подходов. Разработана методика поддержки принятия управленческих решений, основанная на интеграции метода Фишберна и адаптивной маршрутизации беспилотных авиационных систем (БАС). Метод Фишберна обеспечивает объективное ранжирование боевых участков по важности решаемых задач на участках тушения крупных пожаров – ликвидации чрезвычайной ситуации (ЧС). Разработанная методика представляет собой практический инструмент для управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении крупных пожаров (ликвидации ЧС) в условиях арктической зоны, обеспечивая лиц, принимающих решения (ЛПР) объективной информацией для принятия решений в условиях дефицита ресурсов. Она решает три ключевые задачи: устраняет субъективность в оценке приоритетов, оптимизирует распределение ресурсов и поддерживает постоянный мониторинг ситуации. Реализация метода позволяет совершенствовать процесс тушения крупных пожаров за счет надежного информационного обеспечения должностных лиц на пожаре.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, оптимизация маршрутов, поддержка принятия решений, Арктическая зона, крупный пожар.

SUPPORT FOR MANAGEMENT DECISION-MAKING TO DETERMINE THE OPTIMAL ROUTES FOR MOBILE MONITORING EQUIPMENT FOR LARGE FIRES IN THE ARCTIC ZONE

A. V. KUZNETSOV, I. V. BAGHAGKOV, A. V. ERMILOV, S. N. NIKISHOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru, big-99@mail.ru, skash_666@mail.ru, mordov5988@mail.ru

The article examines the process of resource management in extinguishing Arctic fires in timber warehouses, where extreme conditions require fundamentally new approaches. A management decision support methodology based on the integration of the Fishburne method and adaptive UAS routing has been developed. The Fishburne method provides an objective ranking of combat areas according to the importance of tasks to be solved in areas of extinguishing large fires (emergency response). The developed methodology is a practical tool for managing fire and rescue units when extinguishing large fires (emergency response) in the Arctic zone, providing decision makers with objective information for decision-making in conditions of resource scarcity. It solves three key tasks: eliminates subjectivity in assessing priorities, optimizes resource allocation, and supports constant monitoring of the situation. The implementation of the method makes it possible to improve the process of extinguishing large fires due to reliable information support for officials at the fire.

Key words: unmanned aircraft systems, route optimization, decision support, Arctic zone, large fire

Введение

Тушение пожаров на складах круглого леса и пиломатериалов представляет собой одну из наиболее сложных задач в практике пожарной охраны, характеризующуюся уникальным сочетанием факторов. Экстремальные параметры горения создают беспрецедентные условия: пожарная нагрузка достигает 600 кг/м^2 (против $20\text{--}50 \text{ кг/м}^2$ в жилых зданиях). При горении штабеля высотой 15 м температура в эпицентре превышает 1100°C , а скорость распространения огня достигает $1\text{--}1.5 \text{ м/мин}$ даже при умеренном ветре $3\text{--}5 \text{ м/с}$. Особую опасность представляет глубинное тление древесины, продолжающееся неделями после видимого подавления пламени и проникающее на $2\text{--}3 \text{ м}$ внутрь бревен.

Конструктивные особенности объектов многократно усугубляют ситуацию. Плотное складирование бревен с просветами менее 0.5 м между рядами создает «эффект дымохода», ускоряя горение в геометрической прогрессии. Высота штабелей до 25 м превышает возможности большинства пожарных автолестниц, оставляя верхние ярусы вне зоны эффективного воздействия. Критическим фактором становится риск каскадных обрушений, когда горящие бревна массой $300\text{--}800 \text{ кг}$ при падении образуют новые очаги и блокируют подъездные пути.

Оперативные сложности проявляются на всех этапах тушения. Для тушения пожара на 1 га склада требуется $100\text{--}150 \text{ л/с}$ воды, что при типичных площадях объектов $10\text{--}50 \text{ га}$ требует развертывания десятков насосов и километров рукавных линий. Эффективность воды катастрофически падает до $15\text{--}20 \%$ из-за высокого поверхностного натяжения, быстрого стекания по поверхности бревен и невозможности проникновения в щели между штабелями. Температурные ограничения не позволяют применять тяжелую технику (бульдозеры, экскаваторы) для разборки горящих штабелей до снижения температуры, что занимает $8\text{--}12$ часов.

Время прибытия первых пожарно-спасательных подразделений становятся критическими в удаленных районах. Как показывает практика, 70% лесобирж расположены вне 30-километровой зоны оперативного реагирования пожарных частей. В 85% случаев водоснабжение обеспечивается только забором из естественных водоемов, что зимой требует трудоемкой подготовки прорубей. Ширина проездов между штабелями ($3\text{--}4 \text{ м}$) физически ограничивает одновременную работу более двух единиц техники [1–7].

Экологические и экономические последствия носят катастрофический характер. Стоки после тушения содержат фенолы, формальдегиды и смолы в концентрациях, превышающих

предельно допустимую концентрацию в $200\text{--}500$ раз, вызывая долговременное загрязнение водоемов. Средний ущерб от пожара составляет $\$2\text{--}5 \text{ млн}$ с учетом уничтожения сырья, повреждения техники и остановки производства. Выгорание гумусного слоя на глубину $0.5\text{--}1 \text{ м}$ делает почву непригодной для лесовосстановления на $15\text{--}20$ лет.

В арктических условиях вышеизложенная проблематика принимает отягчающий характер. Температуры ниже -40°C вызывают обледенение техники, замерзание рукавов и снижение эффективности огнетушащих составов. Значительно снижаются тактические возможности первых прибывших пожарно-спасательных подразделений ввиду необходимости затрат временных ресурсов на пробивание метрового слоя льда для забора воды. Полярная ночь ограничивает видимость, исключая применение авиации без тепловизоров, а логистические коллапсы увеличивают время доставки сил до $3\text{--}5$ суток.

Однако, стоит учитывать тот факт, что при возникновении крупного пожара на объектах хранения штабелей круглого леса в условиях арктической зоны, чрезвычайная ситуация подразумевает под собой решение многих задач, к которым можно отнести: эвакуацию и спасение людей; создание пунктов их обогрева; обеспечение бесперебойной подачи огнетушащих веществ в условиях низких температур; создание противопожарных разрывов, с целью недопущения распространения площади пожара и т.д. В связи с этим, руководитель тушения пожара (РТП) или же руководитель ликвидации ЧС (РЛЧС) должны понимать, что территория проведения оперативно-тактических действий по тушению пожара (ликвидации ЧС) будет весьма обширной и без дополнительных средств мониторинга здесь не обойтись [8]. Для реализации данной задачи техническими средствами выступают мобильные устройства мониторинга, в частности, беспилотные летательные аппараты различного исполнения [9].

Таким образом, **цель работы** заключается в разработке методики поддержки принятия управленческих решений выбора оптимальных маршрутов движения беспилотных авиационных систем для мониторинга крупных пожаров на объектах хранения лесоматериалов в условиях Арктической зоны, обеспечивающих максимальную эффективность сбора информационных данных при минимальных временных и энергетических затратах.

Основная часть

В работе [10] авторами предлагается алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара. Алгоритм

представляет собой следующую последовательность:

На *первом этапе* для каждого боевого участка производится расчет показателя тактических возможностей сил и средств пожарно-спасательных подразделений. Данный показатель определяется через анализ оперативных ресурсов, учитывающий численность личного состава, задействованного в тушении, и количество функционирующих устройств подачи огнетушащих веществ. На основе этих параметров вычисляется ключевой показатель – скорость локализации возгорания для каждого участка в отдельности.

На *втором этапе* осуществляется идентификация боевого участка, выполняющего функции решающего направления. Критериями выбора служат: максимальная среди всех участков скорость локализации пожара и оптимальное соотношение пожарных расчетов к техническим средствам. Выявленному участку присваивается индекс i , остальным участкам – индексы j .

Третий этап предполагает расчет коэффициентов относительной важности по формуле:

$$\Theta_k = \frac{E_k}{E_i}, k = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

где E_i – показатель участка решающего направления (i);

E_k – показатели других участков (j)

Для участка i коэффициент всегда принимает значение 1 ($\Theta_i = 1$), тогда как для всех остальных участков j значения коэффициентов строго меньше единицы ($\Theta_j < 1$).

На заключительном этапе осуществляется оценка значимости задач на каждом участке. Для этого используются рассчитанные коэффициенты Θ_m совместно с аналитическими зависимостями, представленные в работе [11]. Полученные значения важности задач становятся основой для:

- определения приоритетов воздушного мониторинга;
- оптимизации распределения беспилотных авиационных систем (БАС);
- выбора тактики наблюдения в соответствии с оперативной значимостью участков.

Данная методика нашла практическое применение в работе [11], которая обеспечивает объективную расстановку приоритетов в условиях одновременного ведения действий на нескольких участках, что особенно критично при ликвидации крупных пожаров с ограниченными ресурсами.

Однако, стоит отметить, что при возникновении крупного пожара на объектах хранения штабелей круглого леса в условиях Арктической зоны, перед РТП основная боевая задача заключается не только в тушении. К таким задачам можно отнести:

1. Организация обеспечения жизнедеятельности личного состава циклическостью работ пожарно-спасательных подразделений [12] с интервалом ≤ 15 мин для предотвращения обморожений и восстановления сил; развернуть обогреваемые модули для согрева и медицинской помощи; осуществлять использование морозостойкого снаряжения (маски с подогревом, термобелье).

2. Преодоление температурных ограничений (предотвратить замерзание рукавных линий, обеспечение подачи подогретых огнетушащих составов; организация круглосуточного размораживания источников воды).

3. Поиск и спасение людей (задействовать беспилотное воздушное средство (БВС) с ИК-камерами для обнаружения пострадавших в задымленной зоне; развертывание снегоходных групп для эвакуации; организация временных укрытий с комфортной температурой для обогрева).

4. Противодействие вторичным угрозам.

5. Экологическая защита.

6. Координация проведения оперативно-тактических действий с учетом приоритетов.

Следовательно, при организации тушения крупного пожара в условиях Арктической зоны, перед руководителем тушения пожара стоит комплекс задач, развернутых на обширной территории. Силы и средства, привлекаемые для ликвидации, занимаются не только тушением, соответственно, вышеуказанный алгоритм по оценке важности задач, решаемых на конкретных боевых участках, здесь не подходит. Однако, в связи с охватом обширной территории ликвидации и мультизадачности, для должностных лиц на пожаре необходимо качественное и непрерывное информационное обеспечение. Для реализации данной задачи положительно зарекомендовал себя циклический мониторинг [13, 14].

Циклический мониторинг основывается на принципе непрерывного получения информации с места пожара или чрезвычайной ситуации. Этот принцип является ключевым для обеспечения эффективного управления и принятия решений в условиях динамично развивающихся событий.

Основные элементы модели циклического мониторинга

Декомпозиция процесса сбора информации на циклы: при планировании циклического мониторинга весь процесс сбора

информации, необходимой для принятия решений, разбивается на отдельные циклы. Каждый цикл представляет собой замкнутый процесс, включающий этапы подготовки, выполнения и восстановления средств мониторинга. Такой подход позволяет структурировать процесс и обеспечить систематичность сбора данных.

Формирование циклограммы для каждого средства мониторинга: для каждого средства мониторинга создается циклограмма, которая представляет собой диаграмму, описывающую последовательность этапов его применения. Циклограмма включает этапы выполнения задач сбора информации на месте ЧС; этапы восстановления и технического обслуживания средства мониторинга после завершения работы. Циклограмма служит инструментом для планирования и контроля выполнения задач мониторинга.

Схема мониторинга представляет собой набор правил и параметров, определяющих организацию процесса. Она включает конкретные значения всех параметров циклического мониторинга или их фиксированную часть. Схема позволяет формализовать процесс и обеспечить его повторяемость и устойчивость.

Под циклическим - понимается процесс, при котором на месте мониторинга постоянно находится хотя бы одно средство наблюдения. Это обеспечивает непрерывность сбора данных и контроля ситуации.

Устойчивость процесса достигается за счет реализации мер, обеспечивающих непрерывность мониторинга даже в случае возникновения непредвиденных ситуаций. Для этого в пункте восстановления должно находиться как минимум одно резервное средство мониторинга, готовое к немедленному использованию.

Предложенная схема циклического мониторинга

Продолжительность одного цикла мониторинга обозначается как T (в минутах). Цикл включает четыре этапа:

T_1 – продолжительность этапа следования средства мониторинга к месту ЧС (время перемещения);

T_2 – продолжительность мониторинга на месте ЧС (время сбора данных);

T_3 – продолжительность следования средства мониторинга к месту его восстановления (пункту организации мониторинга);

T_4 – продолжительность восстановления средства мониторинга (время технического обслуживания и подготовки к следующему циклу).

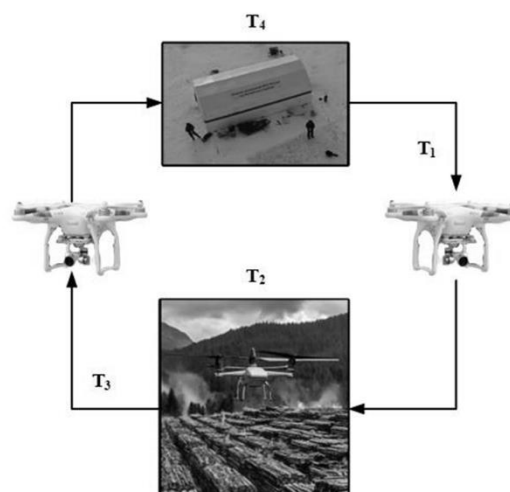


Рис. 1. Схема организации циклического мониторинга

Предложенная схема представлена на рис. 1 и включает визуализацию всех этапов цикла мониторинга. Она позволяет наглядно представить последовательность действий, временные интервалы и взаимосвязь между этапами.

При выполнении различного рода задач, решаемых на боевых участках при тушении крупного пожара или ликвидации последствий ЧС, необходимо грамотно распределить важность боевых участков для выбора оптимального маршрута следования БВС и получения непрерывного информационного обеспечения. Для реализации данной задачи воспользуемся методом Фишберна [15-18].

Метод Фишберна является одним из подходов к ранжированию и определению приоритетов задач на основе экспертных оценок. Он позволяет количественно оценить важность каждой задачи с учетом ее вклада в достижение общей цели. В контексте тушения пожара метод Фишберна может быть использован для определения приоритетности задач на различных участках, что помогает оптимизировать распределение ресурсов и усилий. Метод Фишберна является эффективным инструментом для ранжирования задач на основе их важности и приоритетности. В условиях Арктической зоны, где ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций осложнена экстремальными климатическими условиями, применение этого метода позволяет оптимизировать распределение ресурсов и усилий. Ниже приведено пошаговое описание применения метода Фишберна для определения важности задач на боевых участках ликвидации ЧС в Арктике.

Основные этапы применения метода Фишберна:

1. *Формулировка задач.* На первом этапе необходимо четко определить перечень задач, которые требуется решить на боевых участках ликвидации чрезвычайной ситуации. Например, эвакуация пострадавших; локализация очага возгорания; обеспечение безопасности персонала; предотвращение распространения огня на соседние объекты; ликвидация последствий пожара (разбор завалов, очистка территории).

2. *Определение критериев оценки.* Для оценки важности задач выбираются критерии, которые отражают их значимость. Например: влияние на безопасность людей; влияние на сохранность имущества; срочность выполнения; ресурсоемкость; возможные последствия невыполнения.

3. *Экспертная оценка.* На данном этапе осуществляется оценка каждой задачи по выбранным критериям. Оценка производится по шкале, например, от 1 до 5, где 1 – минимальная важность, а 5 – максимальная.

4. *Расчет весовых коэффициентов.* Для каждого критерия определяется его вес, отражающий его значимость в общей оценке. Весовые коэффициенты рассчитываются по формуле Фишберна (2):

$$\omega_i = \frac{2 \cdot (N - i + 1)}{N \cdot (N + 1)}, \quad (2)$$

где N – количество критериев,

i – порядковый номер критерия после ранжирования по важности.

5. *Расчет общей важности задач.* Для каждой задачи вычисляется общий балл важности по формуле:

$$S_j = \sum_{i=1}^N \omega_i \cdot S_{ij}, \quad (3)$$

где: S_j – общий балл важности задачи,

j, ω_i – вес критерия i ,

S_{ij} – оценка задачи j по критерию i .

6. *Ранжирование задач.* На основе рассчитанных баллов задачи ранжируются по степени важности. Задачи с наибольшими баллами получают высший приоритет.

В качестве примера рассмотрим оценку важности задач по четырем участкам ликвидации ЧС. На ж/д станции в результате повреждения железнодорожного полотна произошло столкновение пассажирского поезда с грузовым составом, перевозившим дизельное топливо. Авария привела к сходу вагонов с рельсов и их опрокидыванию, вызвав деформацию

прилегающей автомобильной дороги. В поврежденном пассажирском вагоне заблокированы люди, требующие срочной эвакуации. Одновременно из-за разрушения дорожного покрытия автобус съехал на лёд озера и полностью погрузился под воду с пострадавшими внутри. Дополнительно произошла разгерметизация цистерны с дизтопливом, вызвавшая разлив горючего и последующее возгорание штабелей пиломатериалов на территории целлюлозно-бумажного комбината. Сложившаяся ситуация требует немедленного проведения аварийно-спасательных работ по четырем направлениям: спасение людей из ж/д состава и автобуса, локализация пожара и ликвидация разлива топлива.

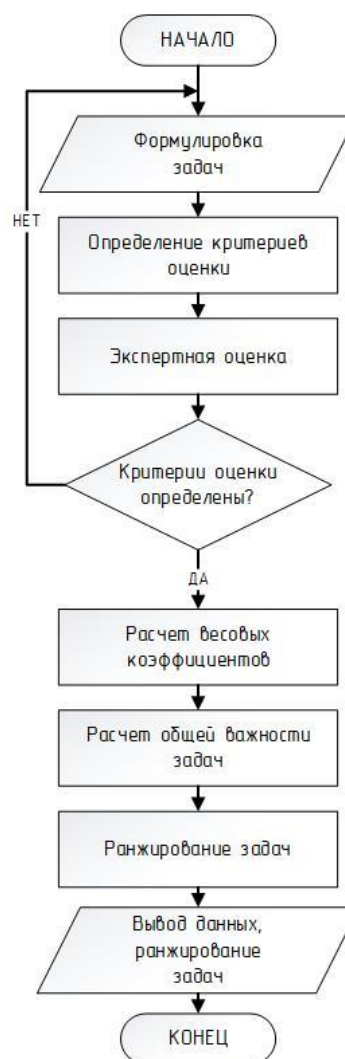


Рис. 2. Алгоритм определения важности решаемых задач на боевых участках

Ликвидация последствий чрезвычайной ситуации, вызванной столкновением железнодорожных составов и провалом автобуса под лед, требует четкого определения

приоритетности задач для эффективного распределения ресурсов и минимизации ущерба. В данном случае метод Фишберна может быть использован для ранжирования задач на основе их важности и срочности. Для определения важности решаемых задач на боевых участках при ликвидации последствий ЧС в результате столкновения железнодорожных составов и провалом автобуса под лед воспользуемся следующим алгоритмом (рис. 2).

1. Формулировка задач

На первом этапе определяются ключевые задачи, которые необходимо решить на боевых участках:

1 боевой участок – спасение пострадавших из аварийного пассажирского вагона

2 боевой участок – ликвидация утечки дизельного топлива

3 боевой участок – тушение пожара штабеля круглого леса

4 боевой участок – спасение пострадавших в результате съезда автобуса под лед

2. Определение критериев оценки

Для оценки важности задач выбираются критерии, учитывающие специфику ЧС:

- влияние на безопасность людей – приоритетность задач, направленных на сохранение жизни и здоровья людей;

- срочность выполнения – необходимость немедленного реагирования для предотвращения усугубления ситуации;

- влияние на экологию – значимость задач, связанных с минимизацией ущерба окружающей среде;

- ресурсоемкость – оценка затрат ресурсов (временных, материальных, человеческих) на выполнение задачи;

- возможные последствия невыполнения – оценка рисков, связанных с отказом от выполнения задачи.

3. Экспертная оценка. На данном этапе осуществляется оценка каждой задачи по выбранным критериям. Оценка производится по шкале от 1 до 5, где 1 – минимальная важность, а 5 – максимальная (табл.).

Таблица. Оценка каждой задачи по выбранным критериям

Задача / Критерий	Безопасность людей	Срочность	Влияние на экологию	Ресурсоемкость
Спасение пострадавших из аварийного пассажирского вагона	5	5	3	3
Ликвидация утечки дизельного топлива	3	4	5	4
Тушение пожара штабеля круглого леса	2	3	4	5
Спасение пострадавших в результате съезда автобуса под лед	5	5	2	3

4. Расчет весовых коэффициентов. Для каждого критерия определяется его вес, отражающий его значимость в общей оценке. Весовые коэффициенты рассчитываются по формуле Фишберна (2).

Для $N = 4$:

Критерий 1 (1 боевой участок):

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot (4 - 1 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,4;$$

Критерий 2 (4 боевой участок):

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot (4 - 2 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,3;$$

Критерий 3 (2 боевой участок):

$$\omega_3 = \frac{2 \cdot (4 - 3 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,2;$$

Критерий 4 (3 боевой участок):

$$\omega_4 = \frac{2 \cdot (4 - 4 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,1.$$

Расчет общей важности задач. Для каждой задачи вычисляется общий балл важности по формуле (3).

Для $N = 4$:

Критерий 1 (1 боевой участок):

$$S_1 = 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 4,4;$$

Критерий 2 (4 боевой участок):

$$S_2 = 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 = 4,2;$$

Критерий 3 (2 боевой участок):

$$S_3 = 0,4 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,1;$$

Критерий 4 (3 боевой участок):

$$S_j = 0,4 \cdot 2 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 3,0.$$

6. Ранжирование задач. На основе рассчитанных баллов задачи ранжируются по степени важности. Задачи с наибольшими баллами получают высший приоритет:

1 боевой участок – спасение пострадавших из аварийного пассажирского вагона – 4,4;

4 боевой участок – спасение пострадавших в результате съезда автобуса под лед – 4,2;

2 боевой участок – ликвидация утечки дизельного топлива – 4,1;

3 боевой участок – тушение пожара штабеля круглого леса – 3,0.

Таким образом, применение метода Фишберна для определения важности задач на боевых участках ликвидации последствий ЧС, вызванной столкновением железнодорожных составов и провалом автобуса под лед, позволяет объективно ранжировать задачи с учетом их влияния на безопасность людей, экологию, срочность и ресурсоемкость. Наиболее приоритетными задачами являются эвакуация пострадавших из аварийного вагона и спасение пассажиров автобуса, что обусловлено высоким риском для жизни людей. Данный метод обеспечивает эффективное распределение ресурсов и координацию действий спасательных подразделений, что является критически важным для успешной ликвидации последствий ЧС.

Оптимальный маршрут движения БВС строится на основе приоритетности задач, определенной методом Фишберна, и учитывает географическое расположение боевых участков (рис. 3). Маршрут начинается с наиболее важных задач (эвакуация из вагона и спасение из автобуса), затем включает локализацию разлива топлива и тушение пожара. Такой подход обеспечивает эффективное использование ресурсов БВС и своевременное выполнение критически важных задач, что способствует успешной ликвидации последствий ЧС.



Рис.3. Оптимальный маршрут движения БВС, учитывающий важность задач, решаемых на боевых участках

Заключение

Проведённое исследование обосновало необходимость новых подходов к управлению ресурсами при тушении крупных пожаров в Арктике, где экстремальные условия многократно усиливают сложность ликвидации ЧС. Результатом работы стала разработка метода поддержки принятия управленческих решений, основанной на интеграции метода Фишберна и адаптивного планирования маршрутов беспилотных авиационных систем.

Метод Фишберна выступил ключевым инструментом системной приоритизации задач, позволив объективно ранжировать боевые участки. Этот подход трансформирует субъективные решения руководителя тушения пожара в количественно обоснованные приоритеты, что особенно критично при одновременном ведении спасательных, противопожарных и аварийных работ на обширной территории. Применение данного метода обеспечивает прозрачность и обоснованность распределения ограниченных ресурсов в условиях мультизадачности.

На основе полученных приоритетов разработана модель динамической маршрутизации БВС, которая кардинально отличается от статических схем. Предложенный алгоритм корректирует траектории полётов в зависимости от количества боевых участков, а также от важности задач, решаемых на данных участках. Интеграция этой модели в управленческий цикл обеспечивает непрерывную верификацию данных мониторинга, оперативное перераспределение беспилотных систем между участками и минимизацию холостых перелётов за счёт адаптивной логистики.

Практическая ценность исследования заключается в создании универсального механизма для формирования обоснованных решений руководителя тушения пожара, предотвращения ресурсных конфликтов при параллельном ведении операций и обеспечения непрерывной информационной поддержки на всех

этапах ликвидации чрезвычайной ситуации. Предложенная методология совершенствует стандарты управления боевыми действиями по тушению пожаров и ликвидации ЧС в экстремальных условиях Арктики, где традиционные подходы демонстрируют ограниченную эффективность.

Список литературы

1. Conard S. G., Ponomarev E. Fire in the North. Wildfire, 2020, vol. 29, pp. 26–32.

2. Reviews & syntheses: arctic fire regimes and emissions in the 21st century / J. L. McCarty [et al.]. Biogeosciences Discussions, 2021, vol. 18, pp. 1–59.

3. Fire in arctic tundra of Alaska: past fire activity, future fire potential, and significance for land management and ecology / N. H. F. French [et al.]. International Journal of Wildland Fire, 2015, vol. 24, issue 8, pp. 1045–1061.

4. Ищенко А. Д., Таранцев А. А., Шидловский А. Л. Об особенностях действий по тушению пожара в условиях Арктики // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 3. С. 16–20.

5. Кораев, К. В., Воропаев Н. П., Селиванова А. И. Актуальные вопросы подготовки спасателей к действиям в Арктической зоне // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: сборник материалов Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2021. С. 640–643. EDN: CHJFVC.

6. Таранцев А. А., Холостов А. Л., Кушпиль И. В. О новом подходе к тушению пожара в условиях низких температур на объектах энергетики // Технологии техносферной безопасности. 2018. № 1. С. 72–80.

7. Рябошапка А. Б., Асадов Б. Р. Особенности мониторинга техногенных и природных опасностей в Арктической зоне Российской Федерации на основе картографического метода исследования // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе: сборник материалов Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской

Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. С. 343.

8. Модель и методика оценки степени сложности системы управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре / Е. В. Степанов, М. Х. Х. Чан, Б. Б. Гринченко [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 1(46). – С. 47–56. – EDN DGCRVX.

9. Бубнов А. Г., Сараев И. В., Семенов А. Д. Аспекты надёжности и выбора беспилотных летательных аппаратов для предупреждения и мониторинга пожаров в условиях пониженных температур // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1 (54). С. 12–26.

10. Кузнецов А. В., Бутузов С. Ю., Тараканов Д. В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 27–33. EDN: KIOOMA.

11. Кузнецов А. В. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров: дис. ... канд. техн. наук: 2.3.4. М., 2023. 150 с. EDN: ZJYNSX.

12. Шалявин Д. Н. Оценка реализации тактических задач пожарных подразделений в процессе выполнения повторных работ при тушении крупных пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 101–107. EDN: WRWZJD.

13. Кузнецов А. В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (41). С. 18–23. EDN: KLWLVM.

14. Модель циклического мониторинга природных пожаров затяжного характера / М. О. Баканов, Д. В. Тараканов, А. В. Кузнецов [и др.] // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. № 2 (40). С. 14–19. DOI 10.25714/MNT.2019.40.002. EDN: VWZYHO.

15. Ремесник Е. С., Сигал А. В. Роль прогрессивных Фишберна в цифровой экономике // Исследование, систематизация, кооперация, развитие, анализ социально-экономических систем в области экономики и управления (ИСКРА – 2018): сборник трудов I Всероссийской школы молодых ученых. Симферополь-Судак: Общество с ограниченной ответственностью

«Издательство Типография «Ариал», 2018. С. 194-198. EDN: YLGIPR.

16. Ранжирование объектов критической информационной инфраструктуры системы связи / О. М. Лепешкин, К. О. Мануков, М. А. Остроумов [и др.] // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сборник научных статей: в 4х томах. Том 2. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2021. С. 289–295. EDN: QFXLOT.

17. Майорова Л. П., Архипов Е. А., Кошельков А. М. Определение весовых коэффициентов различных факторов при комплексной оценке экологического состояния городской территории // Инновации и инвестиции. 2023. № 7. С. 252–257. EDN: NAYCWE.

18. Постников В. М., Спиридонов С. Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. №. 6. С. 267–287.

References

1. Conard S. G., Ponomarev E. Fire in the North. Wildfire, 2020, vol. 29, pp. 26–32.

2. Reviews & syntheses: arctic fire regimes and emissions in the 21st century / J. L. McCarty [et al.]. Biogeosciences Discussions, 2021, vol. 18, pp. 1–59.

3. Fire in arctic tundra of Alaska: past fire activity, future fire potential, and significance for land management and ecology / N. H. F. French [et al.]. International Journal of Wildland Fire, 2015, vol. 24, issue 8, pp. 1045–1061.

4. Ishchenko A. D., Tarancev A. A., Shidlovskij A. L. Ob osobennostyah dejstvij po tusheniyu pozhara v usloviyah Arktiki [On the specifics of firefighting operations in the Arctic]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2020, issue 3, pp. 16–20.

5. Koraev K. V., Voropaev N. P., Selivanova A. I. Aktual'nye voprosy podgotovki spassatelej k dejstviyam v Arkticheskoj zone [Current issues of training rescuers for action in the Arctic zone]. *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problema, perspektivy. Monitoring, predotvrashchenie i likvidaciya chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. SPb.: Sankt-Peterburgskij universitet Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2021, pp. 640–643. EDN: CHJFVC.

6. Tarancev A. A., Holostov A. L., Kushpil' I. V. O novom podhode k tusheniyu pozhara v usloviyah nizkih temperatur na ob'ektah

energetiki [On a new approach to extinguishing fires in low temperature conditions at energy facilities]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2018, issue 1, pp. 72–80.

7. Ryaboshapka A. B., Asadov B. R. Osobennosti monitoringa tekhnogennyh i prirodnyh opasnostej v Arkticheskoj zone Rossijskoj Federacii na osnove kartograficheskogo metoda issledovaniya [Peculiarities of monitoring man-made and natural hazards in the Arctic zone of the Russian Federation based on the cartographic research method]. *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problema, perspektivy. Arktika–region strategicheskikh interesov: pravovaya politika i sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v Arkticheskom regione: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. SPb.: Sankt-Peterburgskij universitet Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2022. P. 343.

8. Model' i metodika otsenki stepeni slozhnosti sistemy upravleniya pozharo-spasatel'nymi podrazdeleniyami na pozhare [Model and methodology for assessing the complexity of the fire and rescue unit management system during a fire] / Ye. V. Stepanov, M. Kh. Kh. Chan, B. B. Grinchenko [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 1 (46), pp. 47–56. EDN: DGCVRX.

9. Bubnov A. G., Saraev I. V., Semenov A. D. Aspekty nadyozhnosti i vybora bespil'nyh letatel'nyh apparatov dlya preduprezhdeniya i monitoringa pozharov v usloviyah ponizhennyh temperatur [Aspects of reliability and selection of unmanned aerial vehicles for fire prevention and monitoring in low temperature conditions]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2025, vol. 1 (54), pp. 12–26.

10. Kuznecov A. V., Butuzov S. Yu., Tarakanov D. V. Algoritm ocenki vazhnosti zadach organizacii monitoringa krupnogo pozhara [Algorithm for assessing the importance of tasks for organizing monitoring of a major fire]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 27–33. EDN: KIOOMA.

11. Kuznecov A. V. Modeli i algoritmy podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij pri monitoringe krupnyh pozharov. Diss. kand. tekhn. nauk [Models and algorithms for supporting management decision-making when monitoring large fires. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2023. 150 p. EDN: ZJYNSX.

12. Shalyavin D. N. Ocenka realizacii takicheskikh zadach pozhar'nyh podrazdelenij v processe vypolneniya povtornyh rabot pri tushenii krupnyh pozharov [Evaluation of the implementation of tactical tasks of fire departments in the process of performing repeated work when

extinguishing large fires]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 2 (51), pp. 101–107. EDN: WRWZJD.

13. Kuznecov, A. V. Model' ciklicheskogo monitoringa krupnyh pozharov i poiskovo-spatatel'nyh rabot [A model for cyclic monitoring of large fires and search and rescue operations]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2021, vol. 4 (41), pp. 18–23. EDN: KLWLVM.

14. Model' ciklicheskogo monitoringa prirodnyh pozharov zatyazhnogo haraktera [Model of cyclic monitoring of natural fires of protracted nature] / M. O. Bakanov, D. V. Tarakanov, A. V. Kuznecov [et al.]. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*, 2019, vol. 2 (40), pp. 14–19. DOI: 10.25714/MNT.2019.40.002. EDN: VWZYHO.

15. Remesnik E. S., Sigal A. V. Rol' progressij Fishberna v cifrovoj ekonomike [The Role of Fishburne Progressions in the Digital Economy]. *Issledovanie, sistematizaciya, kooperaciya, razvitie, analiz social'no-ekonomicheskikh sistem v oblasti ekonomiki i upravleniya (ISKRA – 2018): sbornik trudov I Vserossijskoj shkoly molodyh uchenyh*. Simferopol'-Sudak: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial», 2018, pp. 194–198. EDN: YLGIPR.

16. Ranzhirovanie ob»ektov kriticheskoy informacionnoj infrastruktury sistemy svyazi [Ranking of objects of critical information infrastructure of the communication system] / O. M. Lepeshkin, K. O. Manukov, M. A. Ostroumov [et al.]. *Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii: sbornik nauchnyh statej*, v 4h tomah, Sankt-Peterburg, 24–25 fevralya 2021 goda. Tom 2. SPb.: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij im. prof. M. A. Bonch-Bruевичa, 2021. Pp. 289–295. EDN: QFXLOT.

17. Opredelenie vesovyh koefficientov razlichnyh faktorov pri kompleksnoj ocenke ekologicheskogo sostoyaniya gorodskoj territorii [Determination of weighting coefficients of various factors in a comprehensive assessment of the ecological state of an urban area] / L. P. Majorova, E. A. Arhipov, A. M. Koshel'kov. *Innovacii i investicii*, 2023, issue 7, pp. 252–257. EDN: NAYCWE.

18. Postnikov V. M., Spiridonov S. B. Metody vybora vesovyh koefficientov lokal'nyh kriteriev [Methods for selecting weighting coefficients of local criteria]. *Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii*, 2015, issue 6, pp. 267–287.

Кузнецов Александр Валерьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Kuznetsov Alexander Valerievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Багажков Игорь Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, доцент

E-mail: big-99@mail.ru

Bagazhkov Igor Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: big-99@mail.ru

Ермилов Алексей Васильевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: skash_666@mail.ru

Ermilov Aleksey Vasilevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of pedagogical sciences, associate professor
E-mail: skash_666@mail.ru

Никишов Сергей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: mordov5988@mail.ru

Nikishov Sergey Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: mordov5988@mail.ru