

Метод и алгоритм автономного планирования траектории полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге пожарной обстановки в целях раннего обнаружения источника возгорания

Р. А. Томакова¹ ✉, С. А. Филист¹, А. Н. Брежнева²,
И. Н. Горбачев¹, Я. О. Заикин¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова,
Стремянный пер., д. 36, Москва 117997, Российская Федерация

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

Резюме

Цель исследований – разработка метода и алгоритма автономного планирования траектории полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге пожарной обстановки, которые предназначены для раннего обнаружения источника возгорания. Поскольку своевременное обнаружение очага пожара в стадии его развития позволяет снизить как материальные, так и людские потери, разработка метода и алгоритма автономного планирования траектории полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге пожарной обстановки в целях раннего обнаружения источника возгорания является актуальной, важной задачей.

Методы. Предложен метод обнаружения источника возгорания. В основу метода положено три плана полета. План А предусматривает облет мониторируемой территории гласами с определением концентрации вредного вещества в каждом пикселе территории мониторинга. При обнаружении пикселя, в котором концентрация вредного вещества превышает пороговый уровень, управление полетом БПЛА осуществляется посредством плана В, который предусматривает локальное планирование достижения пикселя – цели, который определяется путем вычисления локальных дифференциальных операторов в девятиэлементной маске. План В позволяет осуществить полет БПЛА непосредственно к источнику возгорания и определить его координаты. План полета С предусматривает возвращение БПЛА в точку вылета из любого пикселя зоны мониторинга.

Результаты. Разработан алгоритм управления траекторией полета БПЛА, позволяющий определять локальные пиксель-цели и на этой основе строить локальный план полета. В основу построения локального плана полета положено правило «не менее трех пикселей на галсе», которое позволяет получить девятиэлементную матрицу с известными концентрациями вредных веществ в пиксель-цели и определить те пиксели локального плана полета, в которых эту матрицу получить не представляется возможным.

Заключение. Математическое моделирование алгоритма управления полетом БПЛА, согласно предложенному методу, было реализовано в пакет Matlab 8.0 и показало устойчивость управления и высокую скорость достижения координат пикселя источника возгорания, превосходящую скорость достижения поставленной цели в 1,5...2 раза, в зависимости от расположения источника возгорания относительно направления облета мониторируемой территории.

Ключевые слова: обнаружение координат возгорания; пиксели цели; алгоритм мониторинга территориальной единицы; локальные дифференциальные операторы; девятиэлементная маска.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Метод и алгоритм автономного планирования траектории полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге пожарной обстановки в целях раннего обнаружения источника возгорания / Р. А. Томакова, С. А. Филист, А. Н. Брежнева, И. Н. Горбачев, Я. О. Заикин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 1. С. 93–110. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-1-93-110>.

Поступила в редакцию 18.01.2023

Подписана в печать 12.02.2023

Опубликована 30.03.2023

Method and Algorithm of Autonomous Flight Trajectory Planning of an Unmanned Aerial Vehicle When Monitoring the Fire Situation in Order to Detect the Source of Ignition Early

Rimma A. Tomakova¹ ✉, Sergey A. Filist¹, Aleksandra N. Brezhneva²,
Igor N. Gorbachev¹, Yaroslav O. Zaikin¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny side-street, Moscow 117997, Russian Federation

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop a method and algorithm for autonomous planning of the flight path of an unmanned aerial vehicle when monitoring the fire situation, which are designed for early detection of the source of ignition. Since timely detection of a fire source at the stage of its development allows to reduce both material and human losses, the development of a method and algorithm for autonomous flight trajectory planning of an unmanned aerial vehicle when monitoring the fire situation in order to detect the source of ignition early is an urgent, important task.

Methods. A method for detecting the source of ignition is proposed. The method is based on three flight plans. Plan A provides for a flyby of the monitored area by gas with determination of the concentration of a harmful substance in each pixel of the monitoring area. When a pixel is detected in which the concentration of a harmful substance exceeds the threshold level, the flight control of the UAV is carried out through plan B, which provides for local planning to achieve the pixel target, which is determined by calculating local differential operators in a nine-element mask. Plan B allows the UAV to fly directly to the source of the fire and determine its coordinates. Flight plan C provides for the return of the UAV to the point of departure from any pixel of the monitoring zone.

Results. An algorithm for controlling the UAV flight path has been developed, which allows determining local target pixels and building a local flight plan on this basis. The basis for constructing a local flight plan is the rule "at least three pixels on the track", which allows you to obtain a nine-element matrix with known concentrations of harmful substances in the target pixel and determine those pixels of the local flight plan in which it is not possible to obtain this matrix.

Conclusion. Mathematical modeling of the UAV flight control algorithm according to the proposed test method was implemented in the Matlab 8.0 package and showed control stability and high speed of reaching the coordinates of the pixel of the ignition source, exceeding the speed of achieving the set goal by 1.5...2 times, depending on the location of the ignition source relative to the direction of the flyby of the monitored territory.

Keywords: unmanned aerial vehicle; flight plan; differential operator in a local window; detection of ignition coordinates; algorithm for monitoring a territorial unit.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Tomakova R. A., Filist S. A., Brezhneva A. N., Gorbachev I. N., Zaikin Ya. O. Method and Algorithm of Autonomous Flight Trajectory Planning of an Unmanned Aerial Vehicle When Monitoring the Fire Situation in Order to Detect the Source of Ignition Early. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023; 13(1): 93–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-1-93-110>.

Received 18.01.2023

Accepted 12.02.2023

Published 30.03.2023

Введение

В России за последние 20 лет площадь природных пожаров [1] в среднем оценивается около 9 млн га в год. При этом значительную часть этой величины составляют площади сгоревших лесов, на которых отсутствует наблюдение и, соответственно, возможность ликвидации возгорания на ранней стадии. Охрана лесов от пожаров была и оста-

ётся одной из значимых государственных задач, которая требует особого внимания [2; 3; 4].

Динамика лесных пожаров за последние десять лет продемонстрирована на рисунке 1. Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что на протяжении многих лет лесные пожары на территории России являются серьёзной нерешённой проблемой.



Рис. 1. Динамика лесных пожаров [2; 4]

Fig. 1. Dynamics of forest fires [2; 4]

Президент Российской Федерации В. В. Путин в режиме видеоконференции 24 августа 2022 г. провёл совещание по вопросу о ликвидации природных пожаров на территории отдельных субъектов страны [5]. Президент обратил внимание на необходимость предотвращения и ликвидации пожаров как на региональном, так и на федеральном уровне. На совещании было акцентировано внимание на использовании авиационной разведки бортами специального предприятия «Авиалесоохрана» и беспилотными авиационными системами ГУ МЧС России.

Система противопожарной безопасности лесов представляет собой сложный комплекс мероприятий и средств [6; 7; 8; 9; 10]. В этой системе важное место в обеспечении информацией о зонах пожаров отводится съемке с использованием беспилотных летательных аппаратов. Такая информация является достоверной и отображает реальную картину пожароопасной обстановки.

В настоящее время в России применяются три основные системы дистанционного мониторинга природных пожаров:

1. *FIRMS* (Fire Infotmation for Resource Management System) и отражающая те же данные *GFIMS* (Global Fire Information Management System). Данные этих систем общедоступны и могут быть использованы любыми лицами.

2. *SFMS* (ScanEx Fire Monitoring Service) используется Министерством РФ

по делам ГО и ЧС, предусмотрена возможность свободного доступа к данным.

3. *ИСДМ-Рослесхоз* (Информационная система дистанционного мониторинга Рослесхоза) и близкая к ней система *ВЕГА*. Данные этой системы доступны только органам государственной власти и лесопожарным организациям.

Следует заметить, что перечисленные выше системы мониторинга имеют существенное ограничение – они непригодны для выявления возгораний на самой ранней стадии [11; 12]. Поэтому цель исследований, проведенных в статье, заключается в разработке алгоритмов, позволяющих устанавливать общую оценку пожарной ситуации и осуществлять быстрое информационное обеспечение.

Материалы и методы

Для установления источника возгорания на ранней стадии необходимо определить координаты этого источника. В случае, если источник возгорания не установлен визуально, то необходимо оценить превышение концентрации вредных веществ, выделяемых в процессе горения (CO , CO_2), а также превышение температуры относительно фонового значения.

Рисунок 2 иллюстрирует состав и взаимосвязь блоков в мобильной платформе, которые предназначены для использования в различных типах БПЛА [12].

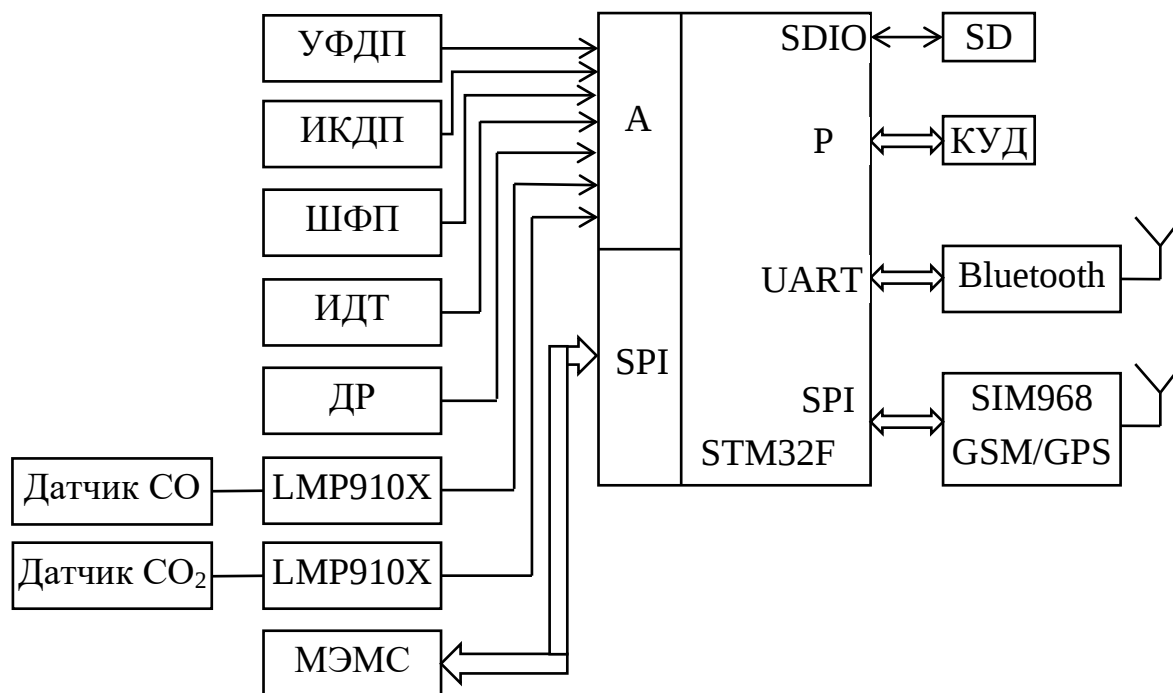


Рис. 2. Взаимосвязь блоков в мобильной платформе

Fig. 2. The relationship of blocks in the mobile platform

На рисунке 2 введены следующие обозначения: УФДП – ультрафиолетовый датчик; ИКДП – инфракрасный датчик для контролирования температуры; ДР – датчик для обнаружения препятствий и их обхода программным путем; STM32F – тип микроконтроллера, имеющий входы А; ШФП – широкополосный фотоприемник, предназначенный для фиксации возгорания; LMP910X – тип микроконтроллера; Р – порт, через который происходит управление движением; КУД – контроллер управления движением; SD – твердотельная память; SDIO – интерфейс.

В материалах данной статьи авторами рассматривается только алгоритм

поиска координат источника возгорания. Автономный режим планирования траектории полета предполагает использовать в качестве навигатора информацию о градиенте концентрации вредных веществ.

Градиент концентрации вредных веществ устанавливается с помощью маски, содержащей девять элементов. В этом случае для установления перепадов целесообразно использовать адаптированные маски [13; 14; 15], приведенные ниже (табл.).

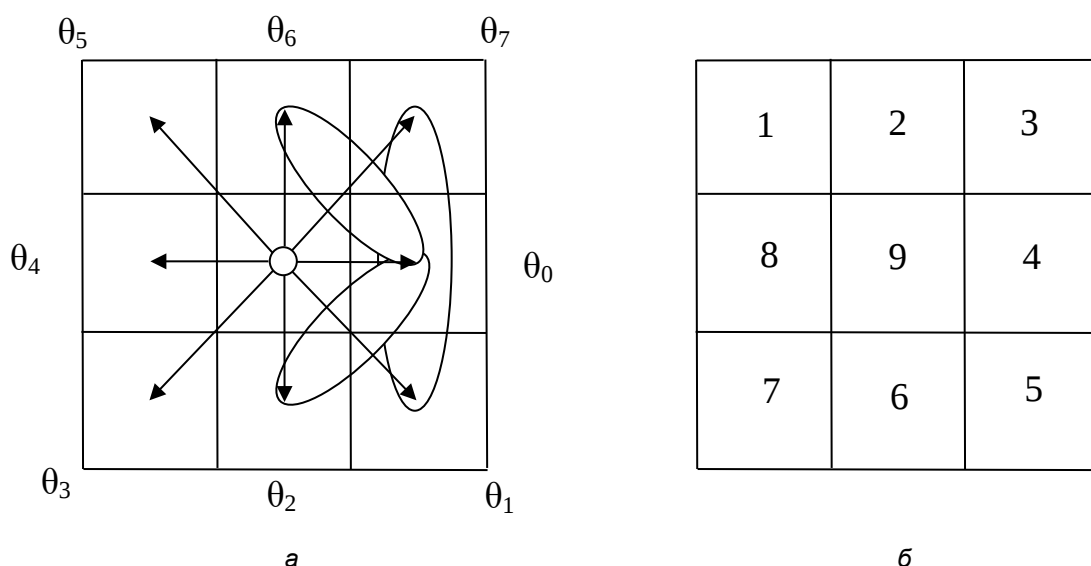
Идентификатор маски свидетельствует о направлении перепада концентрации, вызывающей наибольший отклик фильтра.

Таблица. Примеры адаптивных девятиэлементных масок, применяемых для обработки изображений**Table.** Examples of adaptive nine-element masks used for image processing

«Север» $[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix};$	«Северо-восток» $[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix};$	«Восток» $[H] = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$
«Юго-восток» $[H] = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$	«Юг» $[H] = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$	«Юго-запад» $[H] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$
«Запад» $[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix};$	«Северо-запад» $[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}.$	

За основу формирования градиента концентрации взята девятиэлементная маска (рис. 3), имеющая восемь направлений θ ($\theta = \overline{0,7}$). На рисунке 3 пиксель, обозначенный цифрой 9, является базовым пикселем для определения направ-

ления движения БПЛА в текущий момент времени. Относительно девятого элемента могут быть выбраны восемь альтернативных решений по выбору следующего пикселя – координаты БПЛА. Эти направления представлены на рисунке 3, а и обозначены $\theta_0, \dots, \theta_7$.

**Рис. 3.** Схема формирования направлений градиентов в девятиэлементном окне (а) и схема обозначения пикселей в девятиэлементном окне (б)**Fig. 3.** Diagram of the formation of gradient directions in a nine-element window (a) and a diagram of the designation of pixels in a nine-element window (b)

Для выбора соответствующей альтернативы сформированы три решающих правила. Первое решающее правило основано на утверждении о том, что движение БПЛА должно осуществляться в направлении градиента концентрации [16; 17; 18]. На рисунке 3, а эти возможные движения показаны для направлений градиентов $\theta_0, \theta_1, \theta_7$.

Решающее правило дает возможность выбирать тот пиксель, который находится на конце вектора, проведенного из пикселя 9 в направлении максимального градиента. Рисунок 4 демонстрирует два возможных перемещения БПЛА: первое – в пиксель 10, если максимальный градиент соответствует направлению «Юг»; второе – в пиксель 12, если максимальный градиент соответствует направлению «Юго-запад».

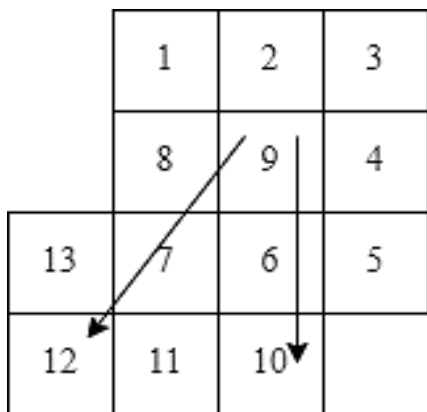


Рис. 4. Выбор пиксель-цели посредством градиентных операторов

Fig. 4. Target pixel selection using gradient operators

Градиент определяется с использованием маски размерностью 3×3 . Поэтому на каждом галсе БПЛА должен

пройти не менее трех пикселей после пикселя, на котором в соответствии с локальным планом полета принято решение о смене галса: правило «не менее трех пикселей на галсе». Размер пикселя устанавливается как минимальная территориальная единица, на которой зафиксировано показание с соответствующего датчика. Если проводится несколько измерений во время облета, то они усредняются. Размер такой территориальной единицы (размер пикселя) определяется как $2b \times 2b$, где b устанавливается апертурой видеокамеры БПЛА b^* , умноженной на коэффициент перекрытия k [8]:

$$b = b^* \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right). \quad (1)$$

Таким образом, максимальный градиент задает цель ближайшего достижимого пикселя. Исходя из ограничения «не менее трех пикселей на галс» планируется траектория полета. При этом при каждом прохождении нового пикселя проверяется возможность определения градиента в новом окне. Если такое окно образовано, то определяется новая цель и в соответствии с ее координатами корректируется план полета.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим схему алгоритма управления полетом БПЛА при мониторинге пожарной безопасности с целью поиска координат источника возгорания (рис. 5).

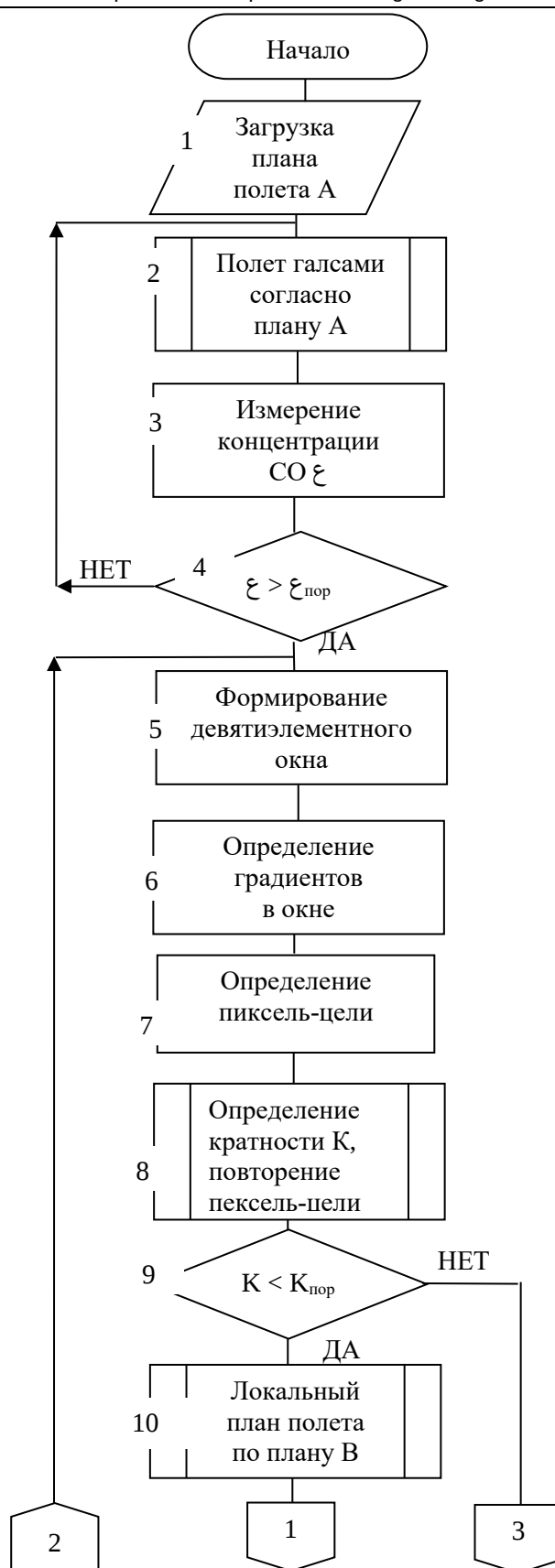


Рис. 5. Схема алгоритма мониторинга территориальной единицы (окончание на с. 101)

Fig. 5. Diagram of the algorithm for monitoring a territorial (ending on p. 101)

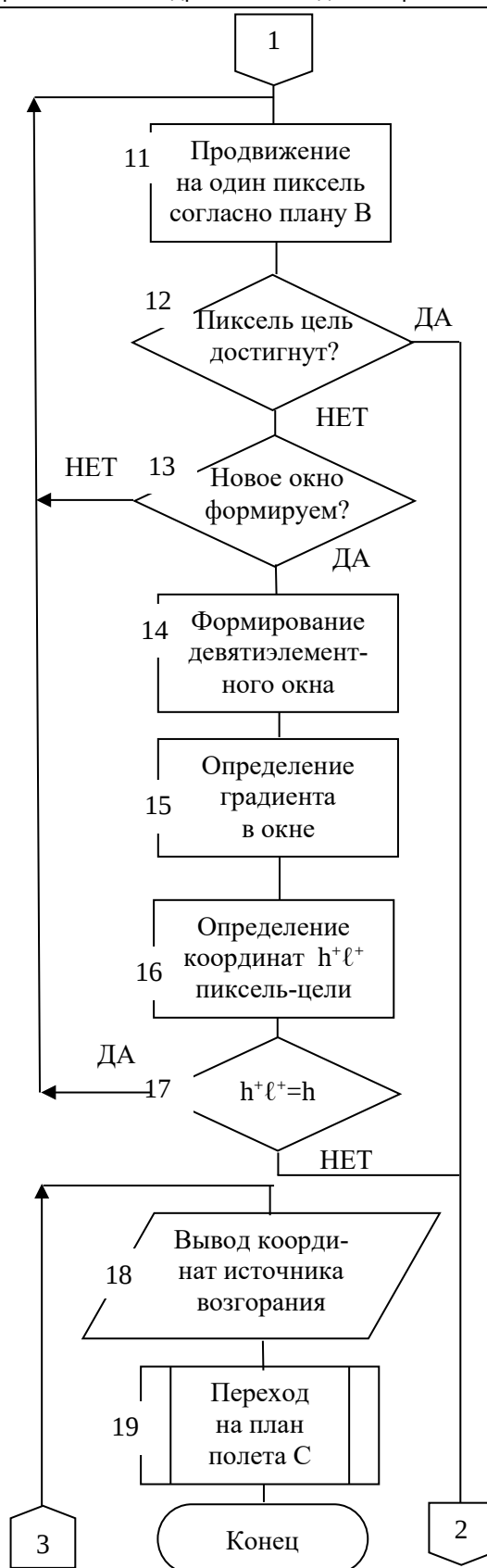


Рис. 5. Окончание (начало на с. 100)

Fig. 5. Ending (beginning on p. 100)

Описанный метод мониторинга БПЛА предусматривает реализацию трех планов полета. Первый план – это план А, согласно которому реализуется облет обследуемой территории по галсам. В процессе облета производятся измерения концентрации вредного вещества в каждом пикселе. Как только устанавливается превышение концентрации выше порогового уровня, то реализуется полет БПЛА по плану В. План В предусматривает установление координат источника возгорания в автономном режиме. После определения координат источника возгорания БПЛА совершает полет согласно плану С, который предусматривает возвращение БПЛА в исходную точку запуска.

В блоке 1 (рис. 5) выполняется загрузка плана полета А. План А полета предусматривает выполнение процедур, которые предусмотрены в блоках 2, 3, 4. Полет, согласно плану А, осуществляется галсами с проведением измерений концентрации вредных веществ в каждом пикселе, размеры которого определяются шириной галса по формуле (табл.). Если концентрация вредных веществ на обследуемой территории не превосходит пороговое значение, то БПЛА возвращается в исходную точку запуска.

Если в ij -м пикселе концентрация вредного вещества превысила пороговое значение (блок 4), то в блоке 5 (рис. 5) осуществляется формирование девяти-элементной маски. Эта маска содержит пиксели с координатами ij , $ij-1$; $ij-2$; $i-1,j$; $i-1,j-1$; $i-1,j-2$; $i-2,j$; $i-2,j-1$; $i-2,j-2$. Центр маски соответствует пикселю с

координатами $i-1,j-1$. После установления координат маски в блоке 6 определяются градиенты по формулам (табл.).

В блоке 7 (рис. 5) определяется пиксель цели, т. е. пиксель, на который оказывает максимальный градиент, определенный по формулам (табл.). Пиксель – цель находится вне маски-фильтра, но является сопряженным с ее пикселями (рис. 4).

Прежде чем приступить к составлению локального плана полета, позволяющего достичь пиксель-цели, необходимо определить кратность определения этого пикселя в качестве цели. Если эта кратность достигнет пороговой, то этот пиксель и является координатой источника возгорания и в блоке 9 происходит переход на блок 18, который фиксирует координаты источника возгорания, а в блоке 19 осуществляется реализация плана полета С, который предусматривает возврат БПЛА из любого пикселя маршрута мониторингования в исходную точку запуска.

Если кратность выбора пикселя меньше пороговой, то в блоке 10 составляется локальный план полета к этому пикселю. На рисунке 6 представлена примерная схема полета. Согласно схеме полагаем, что галсы двигаются с севера на юг, а прямолинейное движения осуществляется в направлениях «Восток» или «Запад». В случае превышения концентрации вредного вещества порогового значения БПЛА либо сохраняет прежнюю траекторию, либо должен переместиться на галс ниже или выше (рис. 6). Однако на верхних галсах

БПЛА уже был, а учитывая, что там превышение предельно допустимой нормы обнаружено не было, движение возможно либо прямо, либо на юг.

В блоке 11 осуществляется выполнение локального плана полета. Если локальный план выполнен, т. е. пиксель-цель достигнута, то осуществляется формирование нового девятиэлементного окна (блоки 5, 6, 7, 8, 9). Учитывая правило «не менее трех пикселей на галсе», это окно должно быть сформировано в любом случае. Если же пиксель-цель не достигнута, то анализируется локальный план полета, и если в текущем пикселе предусмотрена коррекция полета, то формируется девятиэлементное

окно с последующими определениями градиентов и пикселя цели (блоки 14, 15 и 16). В случае, если координаты предшествующей пиксель-цели и текущего, определенные в новом окне, совпадают, то полет выполняется по локальному плану В, если же это не так, то осуществляется построение нового локального плана В посредством выполнения процедур, предусмотренных в блоках 5...10.

На рисунке 7 представлена компьютерная модель траектории БПЛА при выполнении плана полета А и плана полета В. При моделировании использовалось программное обеспечение, представленное в [19; 20; 21; 22].

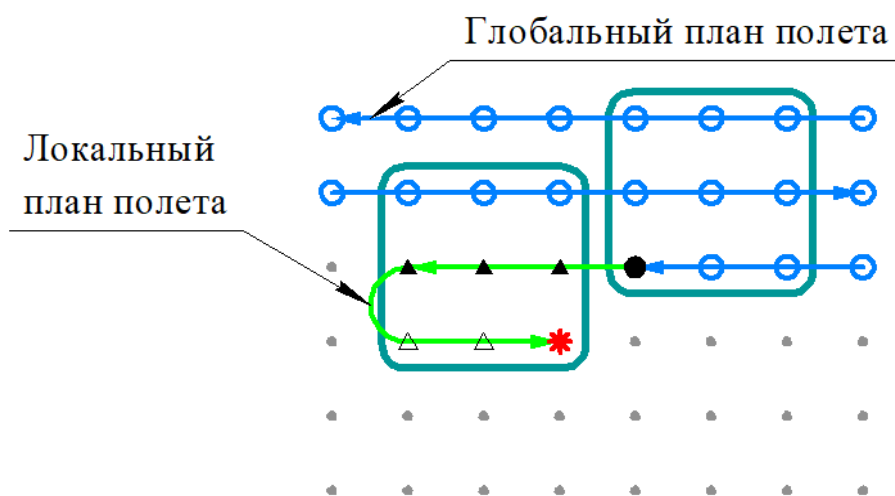


Рис. 6. Пример локального плана полета: ○ – пиксели, в которых определена концентрация вредного вещества в процессе выполнения глобального плана полета; ● – пиксель, в котором концентрация вредного вещества превысила допустимый порог в процессе выполнения глобального плана полета; ★ пиксель – цель локального плана полета;

Δ – пиксели локального плана полета; ▲ – пиксели локального плана полета, в которых формируется девятиэлементное окно

Fig. 6. Example of a local flight plan: ○ – pixels in which the concentration of a harmful substance is determined during the implementation of the global flight plan; ● – a pixel in which the concentration of a harmful substance exceeded the permissible threshold during the implementation of the global flight plan; ★ pixel – the target of the local flight plan;

Δ – pixels of the local flight plan; ▲ – pixels of the local flight plan, in which a nine-element window is formed

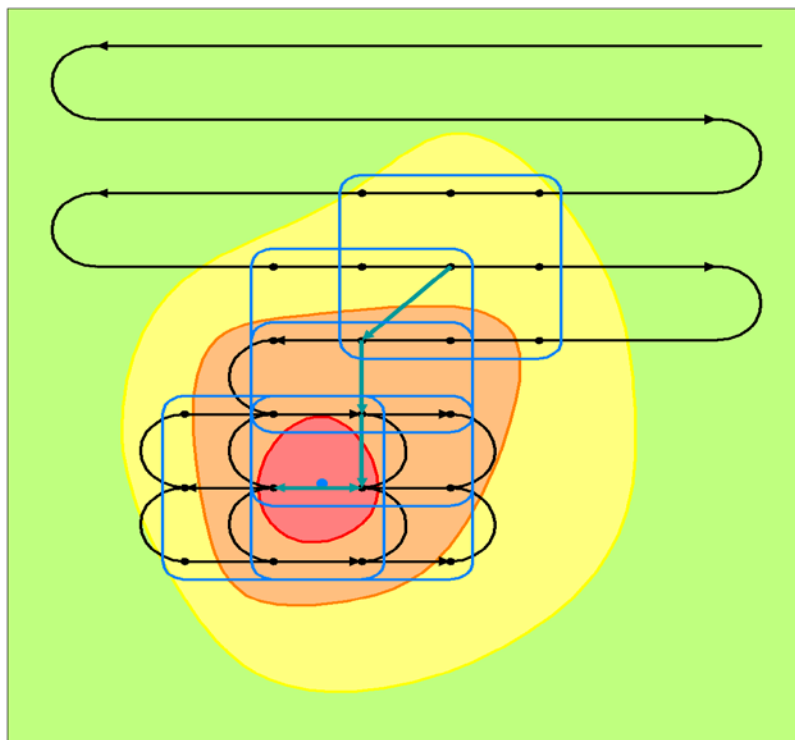


Рис. 7. Модель полета беспилотного летательного аппарата при поиске координат источника возгорания в автономном режиме полета

Fig. 7. Flight model of an unmanned aerial vehicle when searching for the coordinates of the ignition source in autonomous flight mode

Зеленым цветом выделены пиксели, в которых концентрация вредных веществ не превышает пороговую, а черными точками не отмечены пиксели, в которых концентрация вредных веществ превышает пороговый уровень. Источник возгорания на рисунке 7 выделен красным цветом.

Выводы

Предложен метод обнаружения источника возгорания. В основу метода положено три плана полета. План А предусматривает облет мониторируемой территории гасами с определением концентрации вредного вещества в каждом пикселе территории мониторинга. При обнаружении пикселя, в котором концентрация вредного вещества превышает пороговый уровень, управление полетом

БПЛА осуществляется посредством плана В, который предусматривает локальное планирование достижения пикселя — цели, который определяется путем вычисления локальных дифференциальных операторов в девятиэлементной маске. План В позволяет осуществить полет БПЛА непосредственно к источнику возгорания и определить его координаты. План полета С предусматривает возвращение БПЛА в точку вылета из любого пикселя зоны мониторинга.

Разработан алгоритм управления траекторией полета БПЛА, позволяющий определять локальные пиксель-цели и на этой основе строить локальный план полета. В основу построения локального плана полета положено правило «не менее трех пикселей на галсе», которое позволяет получить девятиэлементную

матрицу с известными концентрациями вредных веществ в пикселе-цели и определить те пиксели локального плана полета, в которых эту матрицу получить не представляется возможным.

Математическое моделирование алгоритма управления полетом БПЛА, согласно предложенному методу, было реализовано в пакет Matlab 8.0 и показало

устойчивость управления и высокую скорость достижения координат пикселя источника возгорания, превосходящую скорость достижения поставленной цели в 1,5...2 раза, в зависимости от расположения источника возгорания относительно направления облета мониторируемой территории.

Список литературы

1. Лесные пожары в России. URL: <https://tass.ru/info/15559017> (дата обращения: 12.02.2023).
2. Сафонова Н. Л., Дробушко А. Г. ГИС-технологии для прогнозирования лесных пожаров // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1-2 (5). С. 38–40.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник / под общей редакцией А. В. Матюшина. М.: Всероссийский ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны, 2016. 124 с.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник. Балашиха: Всероссийский ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны, 2022. 114 с.
5. Совещание о ликвидации природных пожаров. URL: <http://www.kremlin.ru/catalog/persons/693/events/69202> (дата обращения: 18.01.2023).
6. Favorskaya M., Pyataeva A., Popov A. Spatio-temporal smoke clustering in outdoor scenes based on boosted random forests // *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 96. P. 762–771.
7. Foggia P., Saggese A., Vento M. Real-time fire detection for video-surveillance applications using a combination of experts based on color, shape, and motion // *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*. 2015. Vol. 25, N 9. P. 1545–1556.
8. Томаков М. В., Томаков В. И. Профилактика лесных пожаров на территории Курской области // *Безопасность жизнедеятельности*. 2020. № 4 (232). С. 52–60.
9. Иванов В. П., Марченко С. И., Нартов Д. И. Противопожарная профилактика лесных объектов // *Лесной журнал. Известия высших учебных заведений*. 2019. № 3. С. 43–54. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.3.43>.
10. Быковский В. К. Охрана лесов от пожаров в России и странах СНГ // *Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право*. 2016. № 3. С. 105–110.

11. Перспективные направления научно-технической деятельности МЧС России в области информационных технологий / К. Г. Бурлаченко, А. А. Ефимов, Ш. К. Кадиев [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6, № 4. С. 481–497.
12. Мобильная система мониторинга, раннего обнаружения и оценки пожарной опасности / М. В. Шевцов, В. В. Аксёнов, Р. И. Сафронов, Л. В. Шульга, С. В. Дегтярев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 3. С. 8–25.
13. Томакова Р. А., Емельянов С. Г., Филист С. А. Интеллектуальные технологии сегментации и классификации биомедицинских изображений: монография / Юго-Западный гос. ун-т. Курск, 2012. 222 с.
14. Автоматические классификаторы сложноструктурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора / М. В. Дюдин, И. В. Зуев, С. М. Чудинов [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой (СОИУ). 2015. Вып. 1. С. 130–141.
15. Формирование признакового пространства для задач классификации сложноструктурируемых изображений на основе спектральных окон и нейросетевых структур / К. Д. А. Кассим, А. А. Кузьмин, О. В. Шаталова [и др.]. // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 4 (67). С. 56–68.
16. Томакова Р. А., Филист С. А., Дураков И. В. Программное обеспечение автоматической классификации рентгенограмм грудной клетки на основе гибридных классификаторов // Экология человека. 2018. № 6. С. 59–64.
17. Филист С. А., Шаталова О. В., Ефремов М. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение. 2014. № 6. С. 35–39.
18. Метод классификации сложноструктурируемых изображений на основе самоорганизующихся нейросетевых структур / О. В. Шаталова, А. А. Кузьмин, К. Д. А. Кассим [и др.] // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 57–65.
19. Метод синтеза математических моделей оценки пожарной обстановки и состояния людей, находящихся в зоне пожара / Н. А. Корневский, М. В. Шевцов, Л. В. Стародубцева, Г. В. Сипливый // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 3. С. 142–159.
20. Интеллектуальная система обработки изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов / С. А. Филист, Р. А. Томакова, Н. Г. Нефедов, Е. И. Пузырев, И. Н. Горбачев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия:

Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 4. С. 64–86.

21. Титов Д. В., Емельянов С. Г., Труфанов М. И. Быстродействующая система технического зрения для поиска и определения характеристик очага возгорания // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2012. № 2. С. 40–43.

22. Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков / С. А. Филист, М. В. Шевцов, В. А. Белозеров [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 85–105.

References

1. Lesnye pozhary v Rossii [Forest fires in Russia]. Available at: <https://tass.ru/info/15559017>. (accessed 12.02.2023)

2. Safonova N. L., Drobushko A. G. GIS-tehnologii dlya prognozirovaniya lesnykh pozharov [GIS-technologies for forecasting forest fires]. *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsii = Problems of Ensuring Safety During Liquidation of Consequences of Emergency Situations*, 2016, no. 1-2 (5), pp. 38–40.

3. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2015 godu. Statisticheskii sbornik [Fires and fire safety in 2015. Statistical collection]; ed. by A. V. Matyushina. Moscow, All-Russian Order "Badge of Honor" Scientific Research Institute of Fire Defense Publ., 2016. 124 p.

4. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu. Statisticheskii sbornik [Fires and fire safety in 2021. Statistical collection]. Balashikha, All-Russian Order "Badge of Honor" Scientific Research Institute of Fire Defense Publ., 2022. 114 p.

5. Soveshchanie o likvidatsii prirodnnykh pozharov [Meeting on the elimination of wild-fires]. Available at: <http://www.kremlin.ru/catalog/persons/693/events/69202>. (accessed 18.01.2023)

6. Favorskaya M., Pyataeva A., Popov A. Spatio-temporal smoke clustering in out-door scenes based on boosted random forests. *Procedia Computer Science*, 2016, vol. 96, pp. 762–771.

7. Foggia P., Saggese A., Vento M. Real-time fire detection for video-surveillance applications using a combination of experts based on color, shape, and motion. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2015, vol. 25, no. 9, pp. 1545–1556.

8. Tomakov M. V., Tomakov V. I. Profilaktika lesnykh pozharov na territorii Kurskoi oblasti. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = Life Safety*, 2020, no. 4 (232), pp. 52–60.

9. Ivanov V. P., Marchenko S. I., Nartov D. I. Protivopozharnaya profilaktika lesnykh ob"ektov [Fire prevention of forest objects]. *Lesnoi zhurnal. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii = Forest Journal. News of Higher Educational Institutions*, 2019, no. 3, pp. 43–54. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.3.43>

10. Bykovskii V. K. Okhrana lesov ot pozharov v Rossii i stranakh SNG [Protection of forests from fires in Russia and CIS countries]. *Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo evraziiskikh gosudarstv: politika, ekonomika, pravo = International Cooperation of Eurasian States: Politics, Economics, Law*, 2016, no. 3, pp. 105–110.

11. Burlachenko K. G., Efimov A. A., Kadiyev Sh. K., eds. Perspektivnye napravleniya nauchno-tekhnicheskoi deyatel'nosti MChS Rossii v oblasti informatsionnykh tekhnologii [Promising directions of scientific and technical activity of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the field of information technologies]. *Vestnik Universiteta grazhdanskoi zashchity MChS Belarusi = Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus*, 2022, vol. 6, no. 4, pp. 481–497.

12. Shevtsov M. V., Aksenov V. V., Safronov R. I., Shul'ga L. V., Degtyarev S. V. Mobil'naya sistema monitoringa, rannego obnaruzheniya i otsenki pozharnoi opasnosti [Mobile monitoring system, early detection and assessment of fire danger]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 8–25.

13. Tomakova R. A., Emel'yanov S. G., Filist S. A. Intellektual'nye tekhnologii segmentatsii i klassifikatsii biomeditsinskikh izobrazhenii [Intelligent technologies of segmentation and classification of biomedical images]. Kursk, Southwest State University Publ., 2012. 222 p.

14. Dyudin M. V., Zuev I. V., Chudinov S. M., eds. Avtomaticheskie klassifikatory slozhnostrukturiruemyykh izobrazhenii na osnove mul'timetodnykh tekhnologii mnogokriterial'nogo vybora [Automatic classifiers of complex structured images based on multimethod technologies of multicriteria selection]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Sistemy i sredstva otobrazheniya informatsii i upravleniya spetsstekhniki (SOIU) = Radio Electronics Issues. Series: Systems and Means of Information Display and Control of Special Equipment (SOIU)*, 2015, is. 1, pp. 130–141.

15. Kassim K. D. A., Kuz'min A. A., Shatalova O. V., eds. Formirovanie priznakovogo prostranstva dlya zadach klassifikatsii slozhnostrukturiruemyykh izobrazhenii na osnove spektral'nykh okon i neirosetyvykh struktur [Formation of a feature space for classification problems of complex structured images based on spectral windows and neural network structures]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 4 (67), pp. 56–68.

16. Tomakova R. A., Filist S. A., Durakov I. V. Programmnoe obespechenie avtomaticheskoi klassifikatsii rentgenogramm grudnoi kletki na osnove gibridnykh klassifikatorov [Software for automatic classification of chest radiographs based on hybrid classifiers]. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*, 2018, no. 6, pp. 59–64.

17. Filist S. A., Shatalova O. V., Efremov M. A. Gibrinaya neironnaya set' s makrosloyami dlya meditsinskih prilozhenii [Hybrid neural network with macro layers for medical applications] *Neirokomp'yutery. Razrabotka, primenenie = Neurocomputers. Development, Application*, 2014, no. 6, pp. 35–39.
18. Shatalova O. V., Kuz'min A. A., Kassim K. D. A., eds. Metod klassifikatsii slozhnostrukturiruemyykh izobrazhenii na osnove sa-moorganizuyushchikhsya neirosetevykh struktur [Method of classification of complex structured images based on self-organizing neural network structures]. *Radiopromyshlennost' = Radio Industry*, 2016, no. 4, pp. 57–65.
19. Korenevskii N. A., Shevtsov M. V., Starodubtseva L. V., Siplivyi G. V. Metod sinteza matematicheskikh modelei otsenki pozharnoi obstanovki i sostoyaniya lyudei, nakhodyashchikhsya v zone pozhara [Method of synthesis of mathematical models for assessing the fire situation and the condition of people in the fire zone]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2021, vol. 11, no. 3. pp. 142–159.
20. Filist S. A., Tomakova R. A., Nefedov N. G., Puzyrev E. I., Gorbachev I. N. Intel'lektual'naya sistema obrabotki izobrazhenii, poluchaemykh s bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Intelligent image processing system obtained from unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 64–86.
21. Titov D. V., Emel'yanov S. G., Trufanov M. I. Bystrodeistvuyushchaya sistema tekhnicheskogo zreniya dlya poiska i opredeleniya kharakteristik ochaga vozgoraniya [High-speed vision system for searching and determining the characteristics of a fire source]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie = News of Higher Educational Institutions. Instrumentation*, 2012, no. 2, pp. 40–43.
22. Filist S. A., Shevtsov M. V., Belozerov V. A., eds. Avtomatizirovannaya sistema dlya klassifikatsii snimkov videopotokov [Automated system for classifying images of video streams]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 85–105.

Информация об авторах / Information about the Authors

Томакова Римма Александровна, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: rtomakova@mail.ru ,
Researcher ID: O-6164-2015,
ORCID: 0000-0003-152-4714

Rimma A. Tomakova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: rtomakova@mail.ru,
ORCID: 0000-0003-152-4714,
Researcher ID: O-6164-2015

Филист Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: SFilist@gmail.com,
Researcher ID: O-4610-2015,
ORCID: 0000-0003-1358-671X

Sergey A. Filist, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: SFilist@gmail.com,
Researcher ID: O-4610-2015,
ORCID: 0000-0003-1358-671X

Брежнева Александра Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: brezhneva.an@rea.ru,
ORCID: 0000-0001-5226-329X

Aleksandra N. Brezhneva, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation,
e-mail: brezhneva.an@rea.ru,
ORCID: 0000-0001-5226-329X

Горбачев Игорь Николаевич, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: Gorbachev.agps@yandex.ru

Igor N. Gorbachev, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: Gorbachev.agps@yandex.ru

Заикин Ярослав Олегович, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: yarozai@yandex.ru

Yaroslav O. Zaikin, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: yarozai@yandex.ru