

**В. В. Егоров, А. П. Калинин, А. И. Родионов,  
И. Д. Родионов, И. П. Родионова**

**БОРТОВАЯ УФ-С-СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ,  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОЧАГОВ ПОЖАРОВ  
И НАВЕДЕНИЯ НА НИХ НОСИТЕЛЯ  
ОГНЕГАСЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ**

Представлено к печати  
заведующим отделом ИКИ РАН  
Р.Р. Назировым

УДК 614.842.6

ISBN 978-5-00015-040-5

## **On Board UV-C System for Determining the Coordinates of Fire Points and Guidance of the Fire Extinguishing Fluid Carrier on them**

*V. V. Egorov<sup>1</sup>, A. P. Kalinin<sup>2</sup>, A. I. Rodionov<sup>3</sup>,  
I. D. Rodionov<sup>3</sup>, I. P. Rodionova<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow

<sup>2</sup> Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of Russian Academy of Sciences (IPMech RAS), Moscow

<sup>3</sup> Joint Stock Company "Scientific and Technical Center "Reagent", Moscow

The aviation UV-C system for fires, determining their and pointing the carrier of extinguishing fluid to them is considered. It is based on the use of a monophoton UV-C sensor capable of determining the angular coordinates of a source of ultraviolet radiation. The composition of the system and the principles of its functioning are considered.

*Keywords:* monophoton UV-C sensor, detecting, fires, coordinates, ultraviolet radiation

## **Бортовая УФ-С-система обнаружения, определения координат очагов пожаров и наведения на них носителя огнетушащей жидкости**

*V. V. Egorov<sup>1</sup>, A. P. Kalinin<sup>2</sup>, A. I. Rodionov<sup>3</sup>,  
I. D. Rodionov<sup>3</sup>, I. P. Rodionova<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва

<sup>2</sup> Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), Москва

<sup>3</sup> Закрытое акционерное общество «НТЦ «Реагент», Москва

Рассмотрена авиационная УФ-С-система обнаружения очагов пожара, определения их координат и наведения на них носителя огнетушащей жидкости. Она основана на использовании монофотонного УФ-С-сенсора, способного определять угловые координаты источника ультрафиолетового излучения. Рассмотрен состав системы и принципы его функционирования.

*Ключевые слова:* монофотонный УФ-С-сенсор, обнаружение, очаги пожара, координаты, ультрафиолетовое излучение.

## ВВЕДЕНИЕ

Тушение пожаров в последнее время приобрело чрезвычайно большое значение. Техногенные, природные пожары, а также пожары, связанные с человеческим фактором, приводят к большим жертвам и к значительным материальным потерям. Например, экономический ущерб только от лесных пожаров в России с начала этого года составил около семи миллиардов рублей. В связи с этим весьма актуальной становится задача оперативного обнаружения очага пожара, когда он локализован на небольшой площади.

Одним из наиболее эффективных средств обнаружения и тушения пожаров (в частности, лесных (Брюханов, Коршунов, 2017)) является применение авиации. Для авиационных систем встаёт вопрос о выборе системы дистанционного обнаружения очага пожара и метода наведения на него авиационного носителя огнегасящей жидкости. Известны различные дистанционные методы и средства определения очага пожара, в частности, основанные на использовании тепловизионной и радиотепловой аппаратуры, визуальном обнаружении и т. п. Однако все эти методы не позволяют определять координаты очага пожара, обладают низкой чувствительностью, зависят от задымления.

Одним из очень перспективных приборов дистанционного обнаружения очага пожара является использование УФ-С-сенсора (сенсор ультрафиолетового С-диапазона) (Белов и др., 2012а; Родионов и др., 2019), который регистрирует ультрафиолетовое излучение в диапазоне 250...280 нм. Эти приборы уже нашли применение при обнаружении коронных и частичных разрядов, возникающих в местах неисправностей линий электропередач (Белов и др., 2012б), организации посадки самолётов (Белов и др., 2014). Устройство даёт возможность обнаружения и изучения динамики процесса горения путём регистрации ультрафиолетовой части излучения.

УФ-С-диапазон имеет сравнительно низкий уровень фоновых помех и, в том числе, слабое влияния фонового излучения Солнца,

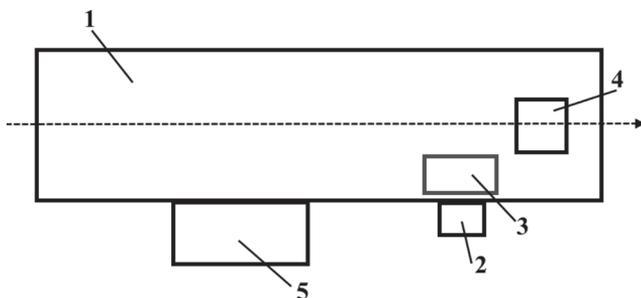
поскольку солнечная радиация в указанном диапазоне сильно ослабляется озоновым слоем вокруг планеты. Указанное обстоятельство делает этот «солнечно-слепой» диапазон весьма привлекательным для создания систем, решающих различные технические задачи в условиях, когда солнечное излучение может экранировать полезный сигнал.

Целью настоящей работы является описание системы, позволяющей обнаруживать и определять координаты очага пожара на основе использования монофотонного сенсора, работающего в диапазоне длин волн 250...280 нм, осуществлять наведение летательного аппарата на очаг пожара и рассчитывать момент сброса огнегасящей жидкости.

## ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Описываемая авиационная УФ-С-система обнаружения и определения координат очагов пожаров способна работать автономно — без использования спутниковых систем навигации. Система является «солнечно-слепой» и может работать в любое время суток. Достоинством использования УФ-С-излучения для обнаружения очагов пожаров является возможность работы системы в условиях сильной задымлённости, поскольку дым, создаваемый пожаром, лишь незначительно рассеивает УФ-излучение, но не поглощает его (в отличие от инфракрасного излучения, которое часто используется для обнаружения пожаров) и вызывает только уширение контуров очага пожаров (Родионов и др., 2012).

Схема предлагаемой авиационной системы показана на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема авиационной системы обнаружения очагов пожаров, определения координат и наведения на них носителя огнегасящей жидкости

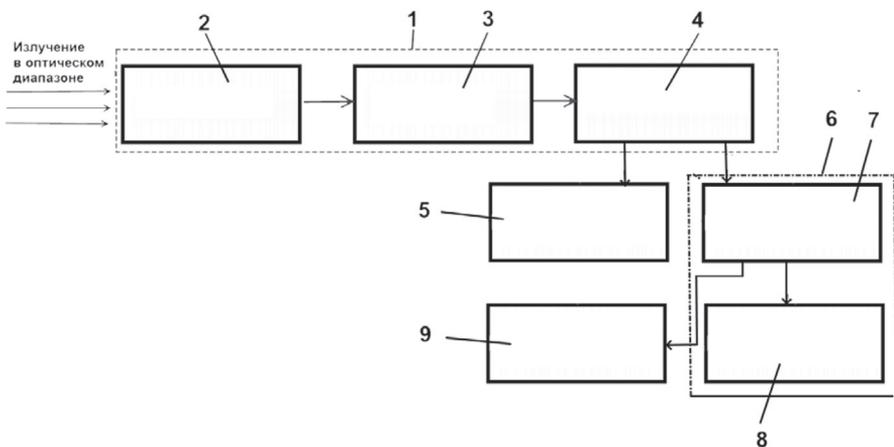
Эта система включает в себя (см. рис. 1): 1 — летательный аппарат (ЛА); 2 — УФ-С-сенсор, закрепляемый снаружи обшивки ЛА; 3 — блок расчёта траектории, времени выдачи команды на сброс огнегасящей жидкости и наведения летательного аппарата на очаг пожара; 4 — монитор УФ-С-сенсора; 5 — система сброса огнегасящей жидкости. Пунктирной линией показана строительная ось ЛА.

Предлагаемая авиационная система даёт возможность определения на борту летательного аппарата (ЛА) угловых координат очага пожара, обеспечивает работу системы в условиях пересечённой местности, а также использовать полученную координатную информацию для наведения летательного аппарата на очаг пожара и рассчитывать оптимальное время сброса огнегасящей жидкости посредством учёта параметров полёта носителя (путевой скорости и угла сноса при наличии бокового ветра), параметров модели оседания сброшенной воды.

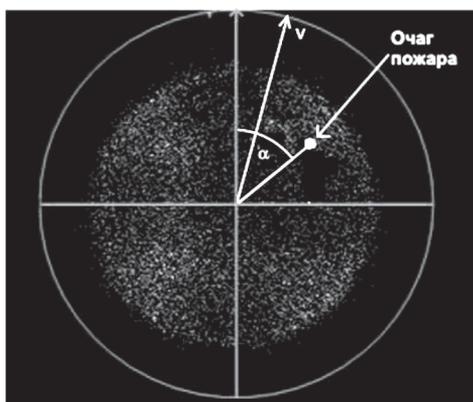
Рассмотрим подробнее отдельные элементы системы. На рис. 2 показана блок-схема взаимодействия УФ-С-сенсора с остальными элементами системы. Здесь **1** — УФ-С-сенсор (выделен пунктирной линией) с составляющими его элементами; **2** — объектив, ось визирования которого лежит в вертикальной плоскости, проходящей через горизонтальную строительную ось ЛА — носителя огнегасящей жидкости; **3** — монофотонный время-координатно-чувствительный детектор (ВКЧД); **4** — вычислительный блок; **5** — монитор УФ-С-сенсора; **6** — блок расчёта траектории, времени выдачи команды на сброс огнегасящей жидкости и наведения летательного аппарата на очаг пожара (выделен штрих-пунктиром), включающий: блок **7** — расчёта траектории летательного аппарата, времени выдачи команды на сброс огнегасящей жидкости и систему наведения летательного аппарата **8**; устройство сброса огнегасящей жидкости **9**.

Функционирует приведённое на рис. 2 устройство следующим образом. Излучение, исходящее от очага пожара и других источников, попадает в объектив **2** УФ-С-сенсора, где с помощью системы линз и фильтров из всего принимаемого потока оптического излучения далее проходят только фотоны в диапазоне длин волн 250...280 нм. Согласно работам (Белов и др., 2012а; Родионов и др., 2019), коэффициент подавления фотонов с длинами волн, отличными от указанного выше диапазона, может достигать  $10^{-14}$ . Вследствие этого обеспечивается «солнечно-слепой» режим регистрации УФ-С-источников и устройство может работать в условиях интенсивного солнечного излучения, попадающего в объектив. Прошедший через объектив **2** фотон излучения попадает на фотокатод

ВКЧД 3. Вычислительный блок 4 определяет угловые координаты  $\alpha$  (рис. 3) и  $\beta$  (рис. 4). На мониторе 5 формируется изображение, показывающее приходящие фотоны УФ-С-излучения, попавшие в телесный угол объектива. На рис. 3 приведён пример отображения источника фотонов УФ-С-излучения очага пожара в виде яркого пятна на мониторе сенсора.



**Рис. 2.** Блок-схема взаимодействия УФ-С-сенсора с остальными элементами системы



**Рис. 3.** Отображение очага возгорания на экране монитора УФ-С-сенсора (вертикальной стрелкой показана строительная ось ЛА, а путевая скорость  $V$  приводится при наличии бокового ветра слева)

Система наведения летательного аппарата **8** предназначена для выдачи информации экипажу ЛА на разворот вектора путевой скорости на очаг пожара и сброс огнегасящей жидкости из устройства **9**.

## **НАВЕДЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОЧАГ ПОЖАРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СБРОСА ОГНЕГАСЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ**

Наведение ЛА на очаг пожара представляет собой нетривиальную задачу. Её решение осложняется в общем случае необходимостью учёта рельефа местности. Для этого в память блока расчёта траектории, времени выдачи команды на сброс огнегасящей жидкости и наведения летательного аппарата на очаг пожара должна вводиться информация о цифровой модели местности (ЦММ). И здесь возможны три случая определения координат очага пожара: а) случай плоского рельефа местности; б) случай нахождения очага пожара на возвышенности; в) случай нахождения очага пожара в понижении рельефа.

### **Случай плоского рельефа**

На рис. 4 показана геометрия ситуации для случая плоского рельефа. Отметим, что во всех трёх ситуациях ось визирования УФ-С-сенсора отклонена от надира на фиксированный угол  $\beta_0$  (см. рис. 4) для обеспечения раннего обнаружения очага пожара.

Угол поля зрения монофотонного сенсора в вертикальной плоскости  $\Delta\beta$  может выбираться исходя из типа ЛА и целей решаемых задач. Здесь  $H$  — высота полёта;  $R$  — наклонная дальность очага пожара;  $L$  — горизонтальная дальность очага пожара;  $\beta$  — текущий угол визирования.

Алгоритм функционирования системы представлен на рис. 5. При появлении на экране индикатора изображения источника УФ-С-излучения — очага пожара в виде яркого пятна (см. рис. 3) производится считывание координат его центра, по которым, как уже было сказано выше, определяются угловые координаты цели (азимут и угол визирования очага пожара). На рис. 3 показано определение азимута (угол  $\alpha$ ) при отсутствии бокового ветра. Вектор путевой скорости ЛА (см. рис. 3) измеряется штатной бортовой доплеровской системой измерения скорости и сноса (ДИСС).

При получении информации об угле  $\alpha$  (см. рис. 3), пилотом (штурманом) выдаётся команда на совершение разворота ЛА,

в результате которого вектор путевой скорости  $V$  ориентируется на пятно очага пожара. Угол визирования  $\Gamma$  очага пожара вычисляется по формуле  $\Gamma = \beta_0 + \beta$  (см. рис. 4).

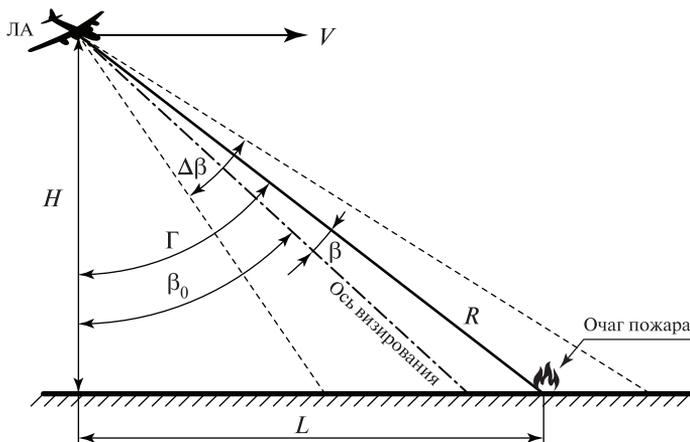


Рис. 4. Схема, поясняющая функционирование системы в условиях плоского рельефа местности

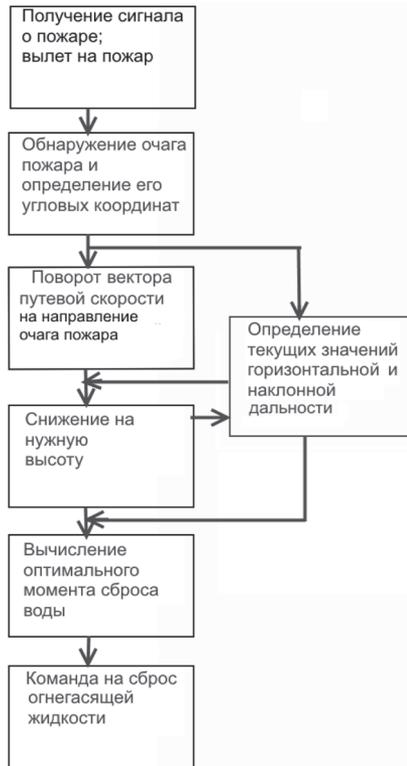
Зная угол  $\Gamma$  и располагая информацией о текущей высоте полёта  $H$ , получаемой со штатного бортового высотомера, путевой скорости  $V$  с помощью блока расчёта траектории летательного аппарата и времени выдачи команды на сброс огнегасящей жидкости (см. рис. 2, блок 6) рассчитывается горизонтальное расстояние до очага пожара  $L$  и наклонная дальность до него  $R$ :

$$L = H \cdot \operatorname{tg} \Gamma, \quad (1)$$

$$R = H \cdot \operatorname{sec} \Gamma. \quad (2)$$

В соответствии с алгоритмом рис. 5 производится снижение ЛА на требуемую высоту. Далее при известных значениях горизонтальной дальности до цели  $L$ , наклонной дальности  $R$ , высоты полёта  $H$ , вектора путевой скорости ЛА  $V$ , а также модели оседания облака воды после её сброса с ЛА (Москвилин, 2009), в блоке 3 (см. рис. 1) вычисляется оптимальный момент сброса воды.

В случае неровного рельефа местности после разворота носителя на цель (очаг пожара) имеют место две противоположные ситуации.



**Рис. 5.** Алгоритм функционирования системы

### **Случай нахождения очага пожара на возвышенности**

На рис. 6 показана геометрия ситуации при нахождении пожара на возвышенности.

В этом случае производится два замера углов  $\varphi$  и  $\psi$  (см. рис. 6) для некоторого расстояния пролёта  $d$ .

Из геометрических соотношений на рис. 6 следует, что приращение высоты очага пожара относительно равнинной части рельефа  $h$  равно

$$h = H - \frac{Vt_{\text{пр}}}{\text{tg}\varphi - \text{tg}\psi}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{пр}}$  — это время, за которое самолёт пролетает расстояние  $d$ . Время пролёта  $t_{\text{пр}}$  определяется исходя из типа самолёта, его скорости

и выбирается минимальным для достижения достаточной точности определения момента сброса огнегасящей жидкости и при этом  $d = t_{\text{пр}} V$ , а остаточное горизонтальное расстояние до очага пожара  $d'$  может быть получено из соотношения

$$d' = \frac{V t_{\text{пр}} \cdot \text{tg}\psi}{\text{tg}\varphi - \text{tg}\psi}. \quad (4)$$

Дальнейшие действия пилотов аналогичны случаю плоского рельефа.

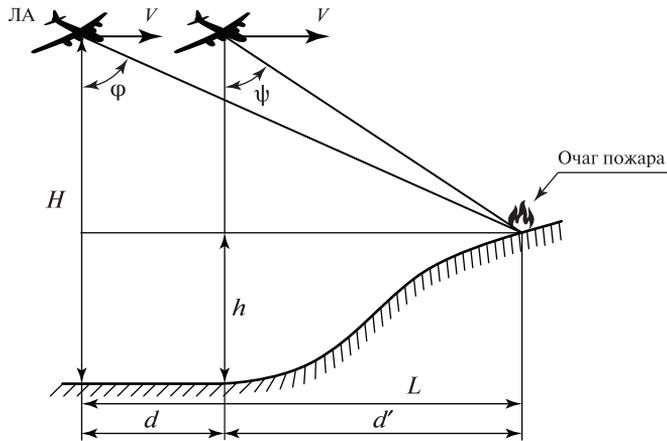


Рис. 6. Геометрия ситуации при нахождении очага пожара на возвышенности

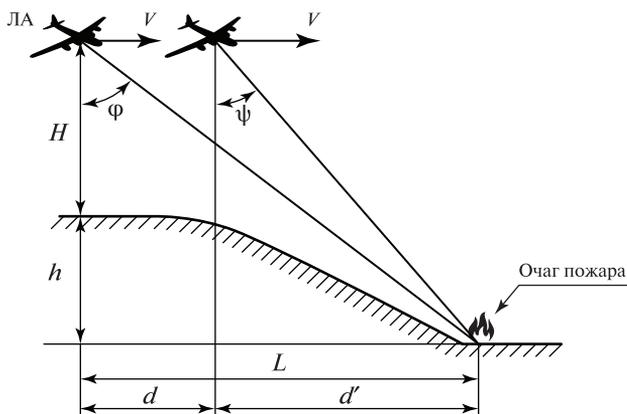
### Случай нахождения очага пожара в понижении рельефа

Геометрия ситуации при нахождении очага пожара в понижении рельефа показана на рис. 7.

Аналогично предыдущему случаю имеют место следующие соотношения

$$h = \frac{V t_{\text{пр}}}{\text{tg}\varphi - \text{tg}\psi} - H, \quad (5)$$

$$d' = \frac{V t_{\text{пр}} \cdot \text{tg}\psi}{\text{tg}\varphi - \text{tg}\psi}. \quad (6)$$



**Рис. 7.** Геометрия ситуации при нахождении очага пожара в понижении рельефа

С помощью формул (1)–(6) блоком (6) расчёта траектории летательного аппарата, времени выдачи команды на сброс огнегасящей жидкости ЛА (см. рис. 2) определяются значения горизонтальной дальности до очага пожара, а при известных значениях скорости и высоты полёта носителя, а также модели оседания облака воды рассчитывается момент оптимального сброса воды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, описанные выше авиационная система и способ её использования позволяют в условиях интенсивного солнечного излучения, сильной задымлённости, неровного рельефа, отсутствия спутниковой навигации находить очаг пожара, определять его координаты и вычислять момент срабатывания системы сброса огнегасящей жидкости.

Система легко реализуема на практике, так как требует использования доступной аппаратуры (УФ-С-сенсор), выпускаемой серийно.

Работа в части разработки конструкции системы выполнена в рамках государственного заказа № гос. рег. АААА-А18-118022790133-1, в части разработки функционирования системы — в рамках государственного заказа № гос. рег. АААА-А17-117021310376-4.

## ЛИТЕРАТУРА

- Белов А. А., Егоров В. В., Калинин А. П., Коровин Н. А., Родионов И. Д., Степанов С. Н. (2012а) Применение монофотонного сенсора «Корона» для дистанционного мониторинга состояния высоковольтного оборудования // Главный энергетик. 2012. № 6. С. 12–17.
- Белов А. А., Егоров В. В., Калинин А. П., Коровин Н. А., Родионов А. И., Родионов И. Д., Степанов С. Н. (2012б) Монофотонный сенсор ультрафиолетового диапазона «Корона» // Датчики и системы. 2012. № 12. С. 58–60.
- Белов А. А., Виноградов А. Н., Егоров В. В., Завалишин О. И., Калинин А. П., Коровин Н. А., Родионов А. И., Родионов И. Д. Возможности использования координатно-чувствительных монофотонных УФ-С датчиков для навигации воздушных судов в зоне аэродрома // Датчики и системы. 2014. № 1. С. 37–42.
- Брюханов А. В., Коршунов Н. А. Авиационное тушение природных пожаров: история, современное состояние, проблемы и перспективы // Сибирский лесной журн. 2017. № 5. С. 37–54.
- Москвилин Е. А. Применение авиации для тушения лесных пожаров // Пожарная безопасность. 2009. № 1. С. 89–92.
- Родионов И. Д., Родионов А. И., Родионова И. П., Шестаков Д. В., Песков В. Д., Егоров В. В., Калинин А. П., Матвеева Н. А. Прохождение УФ-С видимого и ближнего инфракрасного излучений через атмосферу // Химическая физика. 2019. Т. 38. № 11. С. 1–7.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 3  |
| Описание системы .....   | 4  |
| Наведение летательного аппарата на очаг пожара и определение времени сброса огнегасящей жидкости ..... | 7  |
| Случай плоского рельефа .....  | 7  |
| Случай нахождения очага пожара на возвышенности .....  | 9  |
| Случай нахождения очага пожара в понижении рельефа .....   | 10 |
| Заключение .....   | 11 |
| Литература .....   | 12 |