

Научная статья
УДК 614.841.3
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.38.87.006

Определение площади, контролируемой видеокамерами системы раннего обнаружения пожара

Андрей Владимирович Богданов
Юлия Сергеевна Козлова
Георгий Александрович Полунин

Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), Челябинск, Россия

Автор ответственный за переписку: Юлия Сергеевна Козлова, yulia-3012@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена схема рационального расположения видеокамер системы раннего обнаружения пожаров, при которой обеспечивается исключение «слепых» зон, а также покрытие наблюдением всей контролируемой территории. Получена аналитическая зависимость, позволяющая рассчитать площадь контролируемой территории в зависимости от дальности наблюдения видеокамеры.

Ключевые слова: система раннего обнаружения пожара, дальность наблюдения видеокамеры, площадь контролируемой территории

Для цитирования: Богданов А.В., Козлова Ю.С., Полунин Г.А. Определение площади, контролируемой видеокамерами системы раннего обнаружения пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4 (27). С. 20-25. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.38.87.006>.

DETERMINATION OF THE AREA CONTROLLED BY VIDEO CAMERAS OF THE EARLY FIRE DETECTION SYSTEM

Andrey V. Bogdanov
Julia S. Kozlova
Georgiy A. Polunin

South-Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia

Corresponding author: Julia S. Kozlova, yulia-3012@mail.ru

Abstract. The article considers the scheme of the rational arrangement of video cameras of the early fire detection system, which ensures the exclusion of blind sides, as well as coverage of the entire controlled area by surveillance. The analytical dependence has been obtained, which makes it possible to calculate the area of the controlled territory depending on the observation range of the video camera

Keywords: early fire detection system, camera surveillance range, area of controlled territory

For citation: Bogdanov A.V., Kozlova J.S., Polunin G.A. Determination of the area controlled by video cameras of the early fire detection system // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2022;4(27): 20-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.38.87.006>.

Ущерб от пожаров огромен не только в нашей стране, но и во всем мире. Каждый год на планете в среднем гибнут примерно семьдесят тысяч человек, а самих пожаров фиксируется

более семи миллионов. Около половины пожаров наблюдаются в строениях (жилые и офисные здания, производственные помещения, здания с массовым пребыванием людей и т.д.) и на средствах передвижения (автомобили, автобусы, железнодорожный транспорт и т.д.). Другая половина пожаров практически полностью связана с природными, прежде всего, с лесными возгораниями [1]. Поэтому проблема лесных пожаров как для многих стран, так и для Российской Федерации является весьма чрезвычайной.

Лесные пожары могут вызывать пожары в сельской местности, в которых уничтожается вместе с сельхозугодиями и жилыми домами имеющаяся инфраструктура (линии электропередачи, объекты связи, трубопроводы, детские учреждения, больницы и др.). Это приводит к коллапсу экономической деятельности и серьезному экологическому ущербу на значительных территориях многих регионов нашей страны [2].

В нашей стране пожары лесных массивов регистрируются в большом количестве – до тридцати пяти тысяч в год [3]. На рис. 1 представлена сравнительная диаграмма площади лесных пожаров за период с 2000 по 2021 г. (на основе данных [4; 5]), исходя из которой видно, что с годами наблюдается тенденция увеличения площади, охватываемой пожарами. А в 2012 г. и в 2021 г. площадь лесных пожаров превышала 18 млн. гектар. Поэтому охрана лесов от огня и проблема раннего обнаружения лесных пожаров являются актуальными.

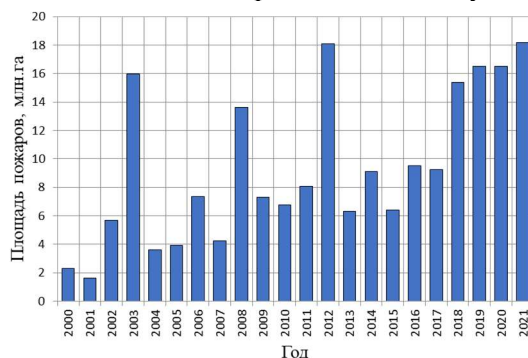


Рис. 1. Сравнительная диаграмма площади лесных пожаров за период с 2000 по 2021 годы

Пожарный мониторинг включает три основных способа. К первым двум относятся спутниковый (из космоса) и воздушный (с летательных аппаратов) способы наблюдения, которые считаются относительно дорогими. Третий способ связан с наземным наблюдением контролируемой зоны. Он требует меньше затрат и основывается на использовании различных датчиков или их совокупности. Это тепловизоры, спектрометры, лазерные средства обнаружения пожара и др. [6]. В качестве датчиков в наземных системах противопожарного мониторинга могут использоваться видеокамеры. С помощью видеокамер в светлое время суток можно контролировать появление огня и дыма, в темное время суток – огня (пламени) от возможного возгорания.

Видеокамеры устанавливаются на пожарных наблюдательных пунктах, стационарных опорах, складывающихся опорах и т.д. При установке видеокамер возникают вопросы, связанные с их количеством и расстоянием установки относительно друг друга, а также зоной покрытия (площадью) видеонаблюдения.

Расстояние установки видеокамер относительно друг друга зависит от их технических характеристик с учетом видимости контролируемой зоны, которая, в первую очередь, зависит от ландшафта, метеорологических условий и высоты установки видеокамер.

При определенной высоте установки видеокамер на опорах с углом обзора в 360° площадь видеонаблюдения, например, для 4-х видеокамер можно найти из рис. 2, на котором O_1 , O_2 , O_3 и O_4 – места установки соответствующих видеокамер. Такое расположение видеокамер (рис. 2) позволит исключить «слепые» зоны и обеспечить наибольшую площадь наблюдения – рациональное покрытие видеонаблюдением всей контролируемой территории.

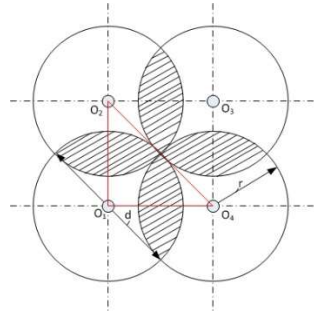


Рис. 2. Схема рационального расположения 4-х видеокамер, обеспечивающего наибольшую площадь контролируемой территории

Из рис. 2 видно, что площадь контролируемой видеокамерами зоны можно определить по следующей формуле, вычитая из площади четырех кругов площади четырех сегментов (обозначены штриховкой), образованных пересечением окружностей:

$$S = 4 \frac{\pi d^2}{4} - 4S_{\text{сегм}} = 4\pi r^2 - 4S_{\text{сегм}}, \quad (1)$$

где S – площадь территории, контролируемой видеокамерами, м^2 ;

d – диаметр окружности (диаметр зоны наблюдения каждой видеокамеры), м ;

r – радиус окружности (радиус зоны наблюдения или дальность наблюдения каждой видеокамеры), м ;

$S_{\text{сегм}}$ – площадь сегмента, образованного пересечением окружностей, м^2 .

Для определения площади одного сегмента $S_{\text{сегм}}$ рассмотрим схему на основе рис. 2 (рис.3).

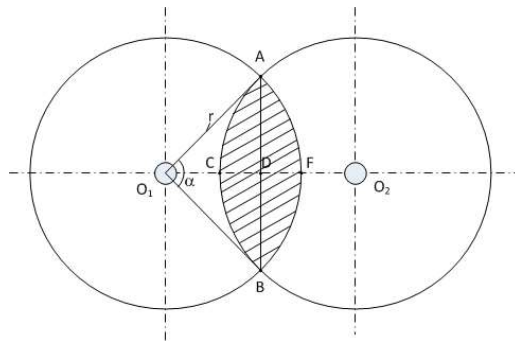


Рис. 3. Схема для определения площади одного сегмента

Для начала найдем площадь сектора O_1AFB по следующей формуле [7]:

$$S_{O_1AFB} = \frac{\alpha r^2}{2}, \quad (2)$$

где S_{O_1AFB} – площадь сектора O_1AFB , м^2 ;

α – угол треугольника O_1AB , рад.

Если дальность видеонаблюдения (радиус окружности r) в формуле (2) известна, то угол α можно найти из треугольника O_1AD (рис. 3), учитывая, что $O_1A = r$:

$$O_1D = r \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (3)$$

Отсюда

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \frac{O_1D}{r}. \quad (4)$$

Так как расстояние $O_1D = \frac{O_1O_2}{2}$ (рис. 3), то выражение (4) примет вид:

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \frac{O_1O_2}{2r}. \quad (5)$$

В свою очередь, расстояние $O_1O_2 = O_1O_4$ можно найти из равнобедренного прямоугольного треугольника $O_1O_2O_4$ (рис. 2). По теореме Пифагора:

$$(O_2O_4)^2 = (O_1O_2)^2 + (O_1O_4)^2 = 2(O_1O_2)^2. \quad (6)$$

Отсюда

$$O_1O_2 = \sqrt{\frac{(O_2O_4)^2}{2}}. \quad (7)$$

Из рис. 2 видно, что $O_2O_4 = 2r$. С учетом этого и равенства (7) можно записать:

$$O_1O_2 = \sqrt{\frac{4r^2}{2}} = \sqrt{2} \cdot r. \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (5) и (8), получим:

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \frac{\sqrt{2} \cdot r}{2r} = 2 \cdot \arccos \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\pi}{2}. \quad (9)$$

Подставляя значение угла α из выражения (9) в формулу (2), получим:

$$S_{O_1AFB} = \frac{\pi r^2}{4}, \quad (10)$$

Из формулы (10) видно, что площадь сектора O_1AFB (рисунок 3) зависит от радиуса r . Для определения площади сегмента $AFBC$ (или $S_{\text{сегм}}$) сначала определим половину его площади – площадь фигуры $ADBF$. Для этого нужно из площади сектора O_1AFB вычесть площадь треугольника O_1AB

$$S_{ADBF} = S_{O_1AFB} - S_{O_1AB}, \quad (11)$$

где S_{ADBF} – площадь фигуры $ADBF$, м²;

S_{O_1AB} – площадь треугольника O_1AB , м².

Площадь равнобедренного треугольника O_1AB найдется по известной формуле [7]:

$$S_{O_1AB} = \frac{1}{2} r^2 \cdot \sin \alpha. \quad (12)$$

С учетом уравнений (9), (10) и (12) равенство (11) примет следующий вид:

$$S_{ADBF} = \frac{\pi r^2}{4} - \frac{1}{2} r^2 \cdot \sin \frac{\pi}{2} = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right). \quad (13)$$

Так как площадь $ADBF$ (S_{ADBF}) равна половине площади сегмента $AFBC$ ($S_{\text{сегм}}$), то площадь сегмента $S_{\text{сегм}}$ найдется на основе выражения (13):

$$S_{\text{сегм}} = r^2 \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right). \quad (14)$$

Подставляя выражение (14) в формулу (1), получим:

$$S = 4r^2 \left(\frac{\pi}{2} + 1 \right). \quad (15)$$

Из полученного выражения (15) следует, что площадь территории S , контролируемой видеокameraми, зависит от квадрата дальности наблюдения видеокamera r . На рис. 4 представлен график изменения площади S от дальности r .

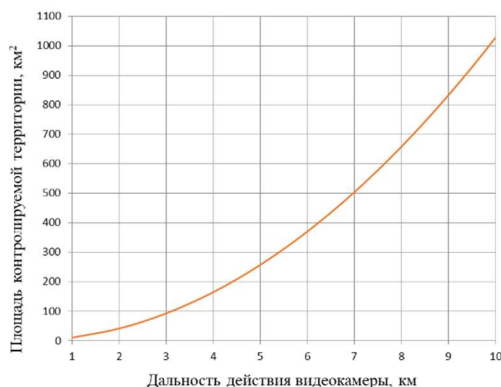


Рис. 4. График зависимости величины контролируемой площади от дальности наблюдения видеокамеры

Как видно из графика (рис. 4), с увеличением дальности наблюдения видеокамеры r контролируемая видеокамерами площадь возрастает.

Несмотря на то, что выражение (15) выведено для четырех видеокамер, подобный подход может быть применен для расчета контролируемой площади для любого числа видеокамер (или других мониторинговых устройств) системы раннего обнаружения пожара, а расстановка видеокамер на основе схемы, представленной на рис. 2, позволит исключить «слепые» зоны и обеспечить рациональное покрытие видеонаблюдением всей контролируемой территории.

Список источников

1. Андреев, А.Ю. Оценка рисков распространения и экологических последствий лесных низовых пожаров / А.Ю. Андреев, Ю.А. Андреев // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2019, №3. – С.19–22.
2. Измайлова, В.Н. Анализ последствий лесных пожаров в Иркутской области и эффективности мероприятий по защите населенных пунктов / В.Н. Измайлова, Р.Г. Шубкин, Е.Н. Карелин, М.А. Никулин // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2020, №4. – С.64–67.
3. Цветков, П.А. Предисловие научного редактора номера /П.А. Цветков // Сибирский лесной журнал. 2017. № 5. С. 3–5.
4. Оперативная информация о лесных пожарах // Федеральное агентство лесного хозяйства. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/fires> (дата обращения 26.09.2022).
5. Пожары в России: данные о местах и типах природных пожаров за 2012–2021 гг. // Инфраструктура научно-исследовательских данных. – URL: https://www.data-in.ru/data-catalog/datasets/202/#dataset-custom_tab_63 (дата обращения 26.09.2022).
6. Васюков, В.Н., Зайцева А.Ю., Бондаренко В.В. Система раннего обнаружения лесных пожаров – архитектура и алгоритмы / В.Н. Васюков, А.Ю. Зайцева, В.В. Бондаренко // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2015. №2 (27). С. 43–56.
7. Гусев, В.А., Кожухов, И.Б., Прокофьев, А.А. Геометрия: полный справочник / В.А. Гусев, И.Б. Кожухов, А.А. Прокофьев. – Изд-во: Махаон, 2006 г. – 320 с.

List of sources

1. Andreev, A.YU. Assessing the risks of spreading and environmental consequences of forest ground fires / A.YU. Andreev, YU.A. Andreev // Scientific and analytical journal "Siberian Fire and Rescue Bulletin", 2019, №3. – pp. 19–22.
2. Izmajlova, V.N. Analysis of the consequences of forest fires in the Irkutsk region and the effectiveness of measures to protect settlements / V.N. Izmajlova, R.G. SHubkin, E.N. Karelin, M.A. Nikulin // Scientific and analytical journal "Siberian Fire and Rescue Bulletin", 2020, №4. – pp.64–67.

3. Cvetkov, P.A. Foreword by the scientific editor of the issue /P.A. Cvetkov // Siberian Forest Journal. 2017. № 5. pp. 3–5.
4. Operational information about forest fires // Federal Forestry Agency. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/fires> (data obrashcheniya 26.09.2022).
5. Fires in Russia: data on locations and types of wildfires for 2012–2021. // Infrastruktura nauchno-issledovatel'skih dannyh. – URL: https://www.data-in.ru/data-catalog/datasets/202/#dataset-custom_tab_63 (data obrashcheniya 26.09.2022).
6. Vasyukov, V.N., Zajceva A.YU., Bondarenko V.V. Forest Fire Early Detection System - Architecture and Algorithms / V.N. Vasyukov, A.YU. Zajceva, V.V. Bondarenko // Reports of the Academy of Sciences of Higher Education of the Russian Federation. 2015. №2 (27). pp. 43–56.
7. Gusev, V.A., Kozhuhov, I.B., Prokof'ev, A.A. Geometry: The Complete Reference / V.A. Gusev, I.B. Kozhuhov, A.A. Prokof'ev. – Publishing house: Mahaon, 2006. – 320 p.

Информация об авторах

А.В. Богданов - доктор технических наук
Г.А. Полунин - кандидат технических наук

Information about the author

A.V. Bogdanov - Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science)
in Engineering Sciences
G.A. Polunin - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов:

Богданов А.В. – научное руководство; концепция исследования; написание исходного текста статьи; итоговые выводы.

Козлова Ю.С. – написание исходного текста статьи; оформление графического материала; доработка и оформление статьи.

Полунин Г.А. – концепция исследования; доработка текста; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Bogdanov A.V. – scientific management; research concept; writing the draft; final conclusions.

Kozlova Yu.S. – writing the draft; design of graphic material; revision and design of the article.

Polunin G.A. – research concept; text revision; final conclusions.

Статья поступила в редакция 17.10.2022; одобрена после рецензирования 18.11.2022; принята к публикации 21.12.2022.

The article was submitted 17.10.2022, approved after reviewing 18.11.2022, accepted for publication 21.12.2022.