

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Предлагаются абсолютные и относительные показатели эффективности систем обнаружения лесных пожаров. Приведены соотношения для их расчётов.

Ключевые слова: лесные пожары, мониторинг, эффективность, вероятность обнаружения.

O.A. Kosorukov, V.I. Startsev

INDICATORS OF THE EFFECTIVENESS OF FOREST FIRE MONITORING SYSTEMS

Absolute and relative indicators of the effectiveness monitoring fire detection systems are offered. Equations for calculation are presented.

Key words: forest fires, monitoring, efficiency, detection probability.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 23 сентября 2016 г.

Сложность представления в стоимостном выражении ряда составляющих ущерба, а также отсутствие надлежащего учёта отрицательных последствий лесных пожаров осложняют возможность расчёта абсолютной величины ущерба от пожаров для отдельных территорий. Допустимость использования в оптимизационных расчётах показателей сравнительной эффективности позволяет перейти от абсолютных значений ущерба к относительным. Использование относительных показателей исключает возможность экономического обоснования оптимального уровня затрат на охрану, описанному ранее, но позволяет решать задачи оптимального распределения ресурсов охраны и выбора её оптимальных стратегий [3-6].

Своевременное обнаружение и тушение (ликвидация) пожаров в лесном фонде и не входящих в лесной фонд лесах требует от территориальных органов управления лесным хозяйством создания и надлежащей организации работы специализированных наземных и авиационных лесопожарных служб, оснащённых современными средствами обнаружения и тушения пожаров [1, 2]. Работа указанных сил и средств должна строиться таким образом, чтобы каждый пожар на территории лесного фонда мог быть обнаружен в начальной стадии развития или в момент его возникновения, а сообщение о пожаре было бы немедленно передано соответствующей службе, организующей тушение, с тем, чтобы необходимые силы и средства пожаротушения своевременно прибыли к месту пожара и обеспечили его ликвидацию в кратчайший срок.

Для оценки эффективности функционирования системы охраны леса от пожаров предлагается рассмотреть среднееождаемый показатель эффективности мониторинга лесопожарной опасности (критерий своевременности обнаружения лесных пожаров) для заданной территории [9, 10].

Пусть рассматривается некоторая территория S . На указанной территории рассматривается некоторое конечное множество возможных мероприятий по мониторингу лесопожарной опасности, которые характеризуются типом, объёмом и местом проведения на данной территории в количестве m . Пусть вектор $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ – вектор инцидентности выбора мероприятий мониторинга: $z_i = 1$, если i -е мероприятие выбирается для реализации, и $z_i = 0$ иначе.

Введём ряд обозначений:

(x, y) – координаты точки возгорания;

$\theta(x, y)$ – время прибытия сил пожаротушения;

I – категория пожарной опасности;

$T_{кр}((x, y), I)$ – детективное время прибытия сил пожаротушения к точке (x, y) в зависимости от категории пожарной опасности;

$t_{кр}$ – критическое (максимально допустимое) время обнаружения возгорания, вычисляемое на основе соотношения (1):

$$t_{кр}(x, y) = \max(T_{кр}((x, y), I) - \theta(x, y); 0); \quad (1)$$

$P_k((x, y), t)$ – вероятность обнаружения возгорания в точке (x, y) за время t k -м средством мониторинга;

$A(x, y)$ – событие обнаружения возгорания в точке (x, y) ;

$T(A(x, y))$ – случайная величина – время обнаружения возгорания в точке (x, y) ;

$F(x, y)$ – условная вероятность обнаружения возгорания в точке (x, y) за максимально допустимое время $t_{кр}$ совокупным множеством средств мониторинга, значение которой вычисляется по формуле (2):

$$F(x, y) = 1 - \prod_{k=1}^N (1 - P_k((x, y), t_{кр}(x, y))). \quad (2)$$

В качестве максимальной величины $T_{кр}((x, y), I)$ для лесов, отнесённых к 1 классу природной пожарной опасности, принимается – не позднее одного часа с момента возгорания; для лесов, отнесённых ко 2 классу, – не позднее 2 часов с момента возгорания; для лесов, отнесённых к 3, 4 классам, – не позднее 3 часов с момента возгорания. В качестве показателя эффективности системы мониторинга лесопожарной опасности целесообразно использовать величину

$$Q_s = \frac{\iint_S F(x, y) ds}{S_{лес}}, \quad (3)$$

где Q_s – показатель эффективности системы мониторинга на территории;

S – территория покрытия леса;

$S_{лес}$ – площадь территории покрытия леса S .

Возможно учесть стоимостные характеристики отдельных лесных территорий в виде модифицированного показателя

$$QV_s = \frac{\iint_S v(x,y)F(x,y)ds}{S_{\text{лес}} \iint_S v(x,y)ds}, \quad (4)$$

где QV_s – показатель эффективности системы мониторинга пожарной опасности на территории с учётом ценности леса;

$v(x,y)$ – точечная характеристика ценности лесного массива.

Показатели Q_s и QV_s являются абсолютными, они зависят от сформированной системы охраны леса, описываемой вектором z и объёмом выделенных финансовых ресурсов V_B , то есть $Q_s(z, V_B)$ и $QV_s(z, V_B)$. С точки зрения удобства интеграции целесообразно рассмотреть относительные показатели, характеризующие соотношение качества существующей системы и наиболее эффективной системы при тех же финансовых ограничениях.

Рассмотрим следующие показатели:

$$RQ(z) = \frac{Q(z^*, V_B)}{Q(z, V_B)} \quad (5)$$

и

$$RQV(z) = \frac{QV(z^*, V_B)}{QV(z, V_B)}, \quad (6)$$

где z^* – наиболее эффективная система защиты леса, сформированная в рамках финансовых ограничений V_B .

Чем выше показатели RQ (5) и RQV (6), тем эффективнее система мониторинга лесопожарной опасности на территории S в рамках выделенных средств V_B .

Метод оценки эффективности функционирования территориальной системы мониторинга природных пожаров на основе сеточной аппроксимации

Рассмотрим некоторую территорию G , полностью, либо частично покрытую лесами различных типов. Предполагаем известными характеристики лесных участков данной территории. Это видовой состав и состояние леса [7]. Известны средства мониторинга пожарной опасности, их характеристики и местоположение. Необходимо произвести оценку эффективности функционирования данной системы обнаружения лесных пожаров.

Предлагается следующая последовательность решения данной задачи. Для всех участков определяем класс леса по природной пожарной опасности. Каждый участок леса будет принадлежать к одному из пяти классов природной пожарной опасности. Объединяем участки с одинаковым классом. В итоге, получим заданную территорию, разбитую на участки с определёнными классами природной пожарной опасности.

Для каждого класса природной пожарной опасности участка леса определено рекомендуемое время прибытия пожарной бригады для тушения пожара: на участках, отнесенных к I классу природной пожарной опасности, – не позднее одного часа после начала пожара; на участках, отнесённых ко II классу,

– не позднее двух часов; на участках, отнесённых к III-IV классам, – не позднее трёх часов после возникновения пожара. Таким образом, для каждого участка леса данной территории известно рекомендуемое время прибытия пожарной бригады.

В данной области лесного массива G имеется m средств наблюдения, расположенных произвольно на плоскости так, что зоны их мониторинга находятся в области G . Выберем прямоугольную систему координат. Начало координат можно выбрать в любой точке плоскости. Территорию G разобьём на ряд прямоугольных участков линиями, параллельными осям координат. Для этого на оси X отметим точки $x_1, x_2, \dots, x_\xi, \dots, x_n$, а на оси Y – точки $y_1, y_2, \dots, y_\eta, \dots, y_k$. В общем случае расстояния между этими точками могут быть неодинаковыми.

В результате того, что территорию G разбили на прямоугольники, получим множество точек пересечения линий, параллельных осям координат, количество которых будет определяться произведением nk , а их координаты могут быть записаны в виде таких последовательностей:

$$\begin{aligned} &(x_1, y_1), (x_1, y_2), \dots, (x_1, y_\eta), \dots, (x_1, y_k); \\ &(x_2, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_2, y_\eta), \dots, (x_2, y_k); \\ &\dots \\ &(x_\xi, y_1), (x_\xi, y_2), \dots, (x_\xi, y_\eta), \dots, (x_\xi, y_k); \\ &\dots \\ &(x_n, y_1), (x_n, y_2), \dots, (x_n, y_\eta), \dots, (x_n, y_k). \end{aligned}$$

Таким образом, в общем виде координаты любой точки сетки территории G могут быть записаны в виде (x_ξ, y_η) , где $\xi = 1, 2, \dots, n$; $\eta = 1, 2, \dots, k$.

Каждая точка (x_ξ, y_η) сетки попадает на некоторый участок леса, для которого известно рекомендуемое время прибытия пожарной бригады, ведущее отсчёт от момента возникновения пожара. Известно месторасположение пожарной бригады на данной территории, то есть, её координаты X_6 и Y_6 . Время прибытия пожарной бригады к месту пожара есть сумма времени, через которое после его начала пожар был обнаружен системой мониторинга, и времени, за которое пожарная бригада доберётся к месту пожара.

Критическое время обнаружения пожара можно вычислить по формуле: $t_{кр} = t_{рек} - t_{переб}$, где $t_{кр}$ – критическое время обнаружения пожара системой мониторинга, $t_{рек}$ – рекомендованное время прибытия пожарной бригады к месту пожара, $t_{переб}$ – время переброски пожарной бригады к месту пожара, которое для каждой точки сетки $x_\xi y_\eta$ можно посчитать:

$$t_{переб} = k \frac{\sqrt{(x_\xi - X_6)^2 + (y_\xi - Y_6)^2}}{v_6}, \quad (7)$$

где v_6 – скорость передвижения пожарной бригады;

k – коэффициент, учитывающий непрямолинейность и неровность пути пожарной бригады к месту пожара.

Таким образом, для каждой точки сетки (x_ξ, y_η) мы знаем критическое время $t_{кр \xi \eta}$, за которое лесной пожар в данной точке должен быть обнаружен системой мониторинга.

Положение каждого средства наблюдения на плоскости будет характеризоваться координатами его положения, а структура всей системы наблюдения может быть задана последовательностью вида $\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_i, Y_i), \dots, (X_m, Y_m)\}$, где (X_i, Y_i) – координаты i -го средства наблюдения.

Расстояние от i -го средства обнаружения до наблюдаемой точки (x_ξ, y_η) равно

$$R_i = \sqrt{(x_\xi - X_i)^2 + (y_\eta - Y_i)^2}. \quad (8)$$

Для каждого средства наблюдения известна интенсивность поиска $\gamma_i(t, R_i)$. Она определяется методом, описанным выше. Тогда вероятность обнаружения пожара системой наблюдения с данной конфигурацией средств мониторинга и мест их расположения в точке (x_ξ, y_η) за время $t_{кр} \xi_\eta$ будет равна

$$P = 1 - e^{-\int_0^{t_{кр} \xi_\eta} \sum_{i=1}^m \gamma_i(\tau, \sqrt{(x_\xi - X_i)^2 + (y_\eta - Y_i)^2}) d\tau}. \quad (9)$$

Просуммируем данную величину по всем точкам сетки, которая покрывает заданную территорию G , используя площади элементарных площадок в качестве весов. Получим величину, характеризующую эффективность обнаружения лесных пожаров данной системой обнаружения на территории G за критическое время обнаружения:

$$F = \sum_{\eta=1}^k \sum_{\xi=1}^n (1 - e^{-\int_0^{t_{кр} \xi_\eta} \sum_{i=1}^m \gamma_i(\tau, \sqrt{(x_\xi - X_i)^2 + (y_\eta - Y_i)^2}) d\tau}) S(x_\xi, y_\eta), \quad (10)$$

где $S(x_\xi, y_\eta)$ – площадь элементарной площадки.

Величину F – среднюю вероятность своевременного обнаружения лесного пожара на заданной территории предлагается использовать в качестве оценки эффективности функционирования конкретной системы обнаружения пожаров на данной территории.

Литература

1. *Лесной* Кодекс Российской Федерации (по состоянию на 20 февраля 2008 г.). Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. 63 с.
2. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 24 мая 2007 г. № 314 "О полномочиях Федерального агентства лесного хозяйства в области лесных отношений".
3. *ГОСТ* 12.1.033-81. Пожарная безопасность (Термины и определения).
4. *ГОСТ* 17.6.1.01-83. Охрана природы (Охрана и защита лесов).
5. *ГОСТ* Р 22.1.09-99. Пожарная безопасность (Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров).
6. *ГОСТ* 12.1.004-91. Пожарная безопасность (Общие требования).
7. *Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.Н.* Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. М.: ДЭКСПРЕСС, 2004. 312 с.
8. *Котельников Р., Коршунов Н.* Космический мониторинг лесных пожаров // Авиапанорама. 2008. № 2. С. 14-17.
9. *Овсяник А.И., Косоруков О.А., Старцев В.И.* Оценка и повышение эффективности систем обнаружения лесных пожаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. № 3. 2014. С. 64-66.
10. *Овсяник А.И., Косоруков О.А., Старцев В.И.* О повышении эффективности системы раннего обнаружения лесных пожаров // Технологии техносферной безопасности. Вып. 4 (56). 2014. <http://ipb.mos.ru/ttb>.