

УДК 630* 161.1

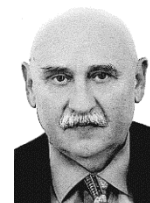
В.Г. Гусев¹, В.К. Дубовый¹, Е.Л. Лопухова¹, В.А. Ирицян²

¹Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства

²ОАО СПП «Выборгское»

Гусев Виталий Георгиевич родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Ленинградский политехнический университет, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат технических наук, заведующий лабораторией охраны леса от пожаров ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет более 100 печатных работ в области лесной пирологии и охраны лесов от пожаров.

E-mail: gusev.v.g@mail.ru



Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, научный сотрудник лаборатории лесоводства ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет более 100 печатных работ в области химической технологии древесины и лесного хозяйства.

E-mail: Dubovy2004@mail.ru



Лопухова Елизавета Леонидовна окончила в 2001 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, младший научный сотрудник лаборатории охраны леса от пожаров ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет около 10 печатных работ в области лесоведения, лесоводства и охраны лесов от пожаров.

E-mail: Luiz-L@yandex.ru



Ирицян Владимир Акопович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, чл.-кор. Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, генеральный директор ОАО СПП «Выборгское». Имеет около 10 печатных работ в области лесной пирологии и охраны лесов от пожаров.

E-mail: Iritsian@inbox.ru



МЕТОД ОЦЕНКИ МИНИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ ОТ ОПОРНОЙ ПОЛОСЫ ДО КРОМКИ ПОЖАРА ПРИ ПУСКЕ ОТЖИГА

На основе исследований природы лесных пожаров и математического моделирования их распространения предложен новый метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига. Метод позволяет оценивать возможность остановки кромки лесного пожара с помощью отжига и определять ширину выжженной полосы.

Ключевые слова: лесной пожар, низовой пожар, верховой пожар, остановка фронта пожара, пуск отжига, опорная полоса.

© Гусев В.Г., Дубовый В.К., Лопухова Е.Л., Ирицян В.А., 2012

Тушение лесных пожаров с помощью отжига применяется в российских лесах давно и зарекомендовало себя как очень эффективное средство. В настоящее время в нормативных правовых документах, регламентирующих действия лесопожарных служб, отсутствует объективный расчетный метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига. Отжиг представляет собой заблаговременный пуск огня по напочвенному покрову от опорной полосы навстречу кромке низового или верхового пожара в целях создания на его пути достаточно широкой выжженной полосы.

При сильном ветре возможен перенос горящих растительных частиц от фронта низового пожара на расстояние 15...20 м, при верховом пожаре – на сотни метров. Поэтому, если на пути фронтальной кромки нет достаточно широкой преграды, а быстрое создание ее невозможно или требует большого количества сил и средств, то для остановки пожара применяют отжиг (встречный огонь). При этом самое важное на каком минимальном расстоянии от опорной полосы до кромки пожара пуск отжига обеспечит остановку огня.

Практика борьбы с лесными низовыми пожарами показывает, что для остановки слабого низового пожара ширина выжженной полосы должна быть не менее 5 м, а для среднего и сильного – соответственно не менее 15 и 20 м.

Для оценочных расчетов скорости фронта низового пожара можно воспользоваться упрощенной математической моделью, полученной методом наименьших квадратов аппроксимацией результатов расчетов по модифицированной модели Ротермела [3, 4, 10]. В этой модели скорость фронта низового пожара для равнинной местности аппроксимирована экспонентой, зависящей от двух наиболее значимых параметров: скорости ветра под пологом леса и влагосодержания напочвенного покрова:

$$V = \exp(a_1 + a_2U + a_3M + a_4U^2 + a_5M^2 + a_6UM), \quad (1)$$

где V – скорость фронта низового пожара, м/мин;

a_1, a_2, \dots, a_6 – коэффициенты, постоянные для данного вида напочвенного покрова (табл. 1);

U – скорость ветра под пологом древостоя на высоте 2 м, м/с;

M – влагосодержание проводников горения в напочвенном покрове, кг / кг.

Таблица 1

Постоянный коэффициент	Значения постоянного коэффициента для основных проводников горения		
	Лишайники, опад	Зеленые мхи	Отмершая трава
a_1	-0,3939	-0,2519	0,5891
a_2	1,046	1,284	1,398
a_3	-2,658	-2,658	-6,215
a_4	-0,06164	-0,09284	-0,15800
a_5	-4,795	-4,795	5,735
a_6	-0,03500	-0,04444	0,01023

Коэффициенты, приведенные для лишайника, можно использовать при прогнозе скорости фронта низового пожара в сосняках лишайниковых, лишайниково-вересковых, лишайниково-мшистых и рыхлоопадных. При этом влагосодержание напочвенного покрова может изменяться в пределах от 0,09 до 0,41 кг/кг [1].

Коэффициенты, соответствующие зеленому мху, рекомендуются для сосняков брусничных, чернично-брусничных, черничных, багульниковых осушенных и для ельников черничных. В этом случае влагосодержание находится в пределах от 0,10 до 0,43 кг/кг.

Коэффициенты для отмершей травы используются при прогнозных оценках в древостоях и на вырубках в сосняках, ельниках, березняках и осинниках с травяным напочвенным покровом для весеннего или осеннего периодов. При этом влагосодержание может изменяться в диапазоне от 0,09 до 0,40 кг/кг.

Для оценки среднего значения влагосодержания некоторых видов напочвенных покровов по комплексному показателю В.Г. Нестерова в работе [5] предложена гиперболическая функция следующего вида:

$$m = a/\Gamma + v, \quad (2)$$

где m – влагосодержание напочвенного покрова;

a, v – эмпирические коэффициенты;

Γ – комплексный метеорологический показатель.

Значения эмпирических коэффициентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Эмпирический коэффициент	Значения эмпирического коэффициента для основных напочвенных проводников горения		
	Лишайники	Зеленые мхи	Опад хвои, отмершая трава
a	270,68	636,21	174,76
v	0,07	0,08	0,06

Для более точной оценки используют показатель влажности лесного напочвенного покрова ПВ-1 [6, 7], по которому можно прогнозировать влагосодержание основного проводника горения (ОПГ) в напочвенном покрове. Зависимость влагосодержания ОПГ в слое лесного напочвенного покрова от показателя ПВ-1 по данным [7] представлена в табл. 3.

Скорость ветра под пологом древостоя U рекомендуется оценивать по формулам [2, 8]:

$$U_2 = U_1 \lg (z_2/z_1) / \lg (z_1/z_{01}); \quad (3)$$

$$z_3 = H + 6; \quad (4)$$

$$z_{03} = 0,13 H; \quad (5)$$

$$U_3 = U_2 \lg (z_3/z_{03}) / \lg (z_2/z_{03}); \quad (6)$$

$$U_4 = \frac{0,31U_3}{\sqrt{fH} \ln \frac{20+1,18H}{0,43H}}; \quad (7)$$

$$U = K_2 U_4, \quad (8)$$

Таблица 3

Показатель ПВ-1	Влажность, кг воды / кг сырого вещества, для основных напочвенных проводников горения					
	Лишайники, отмершая трава		Зеленые мхи на почвах			
			дренированных		слабо дренированных суглинистых	
	Верх слоя	Весь слой	Верх слоя	Весь слой	Верх слоя	Весь слой
200	0,41	–	–	–	–	–
300	0,28	–	–	–	–	–
400	0,20	0,43	–	–	–	–
500	0,18	0,29	–	–	–	–
600	0,16	0,24	0,43	–	–	–
700	0,16	0,20	0,33	–	–	–
800	0,15	0,18	0,27	–	–	–
900	0,14	0,16	0,24	–	–	–
1000	0,14	0,16	0,22	0,43	–	–
1100	0,14	0,16	0,21	0,35	0,37	–
1200	0,13	0,15	0,20	0,32	0,32	0,43
1300	0,12	0,15	0,19	0,29	0,27	0,41
1400	0,12	0,14	0,18	0,27	0,25	0,39
1500	0,12	0,14	0,18	0,26	0,23	0,37
1600	0,12	0,13	0,17	0,25	0,21	0,35
1700	0,11	0,13	0,16	0,23	0,20	0,33
1800	0,11	0,13	0,15	0,23	0,20	0,32
1900	0,11	0,12	0,15	0,22	0,19	0,31
2000	0,10	0,12	0,14	0,20	0,19	0,28
2100	0,10	0,12	0,13	0,20	0,18	0,27
2200	0,10	0,11	0,12	0,19	0,18	0,26
2300	0,10	0,11	0,12	0,18	0,18	0,25
2400	0,10	0,11	0,11	0,17	0,18	0,24
2500	0,10	0,11	0,10	0,16	0,18	0,23
2600	0,09	0,11	0,10	0,15	0,17	0,22

где U_2 – скорость геострофического ветра на высоте $z_2 = 1000$ м, м/с;

U_1 – скорость ветра на открытом месте, измеренная на стандартной высоте $z_1 = 10$ м, м/с;

z_{01} – шероховатость подстилающей поверхности на метеостанции (для травы высотой 2...30 см $z_{01} = 0,01$ м), м;

z_3 – критическая высота, начиная с которой скорость ветра подчиняется логарифмическому закону, м;

H – высота древостоя, м;

z_{03} – шероховатость лесного массива, м;

U_3 – скорость ветра над пологом древостоя на высоте z_3 , м/с;

U_4 – скорость ветра в пологе древостоя, м/с;

f – доля объема вещества крон в единице объема полога (табл. 4);

K_2 – эмпирический коэффициент, $K_2 = 1,1$.

Таблица 4

Насаждения	Доля объема вещества крон в единице объема полога насаждений			
	теневыносливых		светлюбивых	
	Молодые и средневозрастные	Спелые и перестойные	Молодые и средневозрастные	Спелые и перестойные
Высокополнотные	0,32	0,24	0,16	0,08
Средне- и низкополнотные	0,09	0,07	0,07	0,05

Если необходимо оценить интенсивность не фронтальной кромки, а кромки, распространяющейся в каком-либо другом направлении, то используют радиальную скорость (V_r , м/мин), которую определяют с помощью эмпирической формулы:

$$V_r = V \exp [A (\cos^2 \alpha / 2 - 1)], \quad (9)$$

где A – эмпирический коэффициент, учитывающий изменение формы очага горения в зависимости от скорости ветра,

$$A = \begin{cases} 0,113 + 0,376 U & \text{при } U \leq 11 \text{ м/с;} \\ 1,125 + 0,284 U & \text{при } 11 \text{ м/с} < U < 16 \text{ м/с;} \end{cases} \quad (10)$$

α – угол между рассматриваемым направлением распространения кромки пожара и направлением ветра.

Скорость фланговой кромки ($V_{\text{фл}}$, м/мин) низового пожара находят по формуле (9) при $\alpha = \pi/2$, т. е.

$$V_{\text{фл}} = V \exp (-0,5 A), \quad (11)$$

скорость тыловой кромки (V_t , м/мин) определяют аналогично из (8) при $\alpha = \pi$:

$$V_t = V \exp (-A). \quad (12)$$

Скорость низового пожара при отжиге, пущенного навстречу фронту, будет равна V_t . Надежная остановка огня достигается, когда ширина выжженной полосы перед фронтом слабого низового пожара составит 5 м, перед фронтом низового пожара средней силы – 15 м, перед фронтом сильного низового пожара – 20 м.

Время (t_1 , мин), необходимое для отжига полос указанной ширины, соответственно

$$t_1 = 5 \text{ м} / V_t; \quad t_2 = 15 \text{ м} / V_t; \quad t_3 = 20 \text{ м} / V_t.$$

Тогда минимальное расстояние (L , м) от опорной полосы до фронтальной кромки низового пожара при пуске отжига соответственно для слабого, среднего и сильного пожаров:

$$L_1 = (V + V_t) t_1; \quad L_2 = (V + V_t) t_2; \quad L_3 = (V + V_t) t_3. \quad (13)$$

Для оценки максимальной скорости распространения устойчивого (повального) верхового пожара можно использовать график ее зависимости от индекса распространения пожара ISI (по национальной системе Канады)

по оценке и прогнозированию показателей пожарной опасности в лесу. Этот индекс определяют по формулам из [9]:

$$ISI = 0,208f(U)f(m), \quad (14)$$

где $f(U)$ – функция ветра, определяемая равенством

$$f(U) = e^{0,05039U}; \quad (15)$$

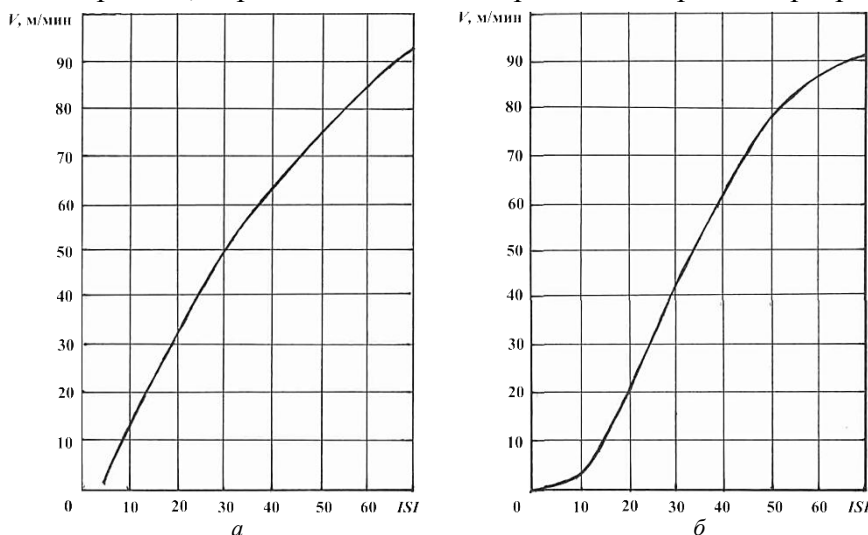
$f(m)$ – функция влажности верхнего слоя напочвенного покрова, определяемая по формуле

$$f(m) = 91,9 e^{-0,1386m} [1 + m^{5,31} / (4,93 \cdot 10^7)]. \quad (16)$$

Скорость фронта верхового пожара в зависимости от индекса ISI и высоты древостоя может быть оценена с помощью графиков (см. рисунок) [11].

Для оценки скорости продвижения тыловой кромки можно использовать формулу (12).

Расчеты с помощью математических моделей и результаты наблюдений за верховыми пожарами показывают, что при сильном ветре отдельные горящие (тлеющие) частицы, отрывающиеся восходящими потоками газов в зоне пожара, могут подниматься конвекционными потоками и переноситься ветром на расстояние до 330...350 м (при отсутствии крупномасштабных вихрей). При этом массовый перенос горящих растительных частиц обычно не превышает одной трети максимального расстояния переноса, т. е. не более 110...120 м. Подавляющая часть горящих частиц выпадает в пределах 2/3 максимального расстояния переноса, т.е. на расстоянии до 220 м от кромки верхового пожара. На последней трети максимального расстояния переноса могут выпадать только единичные частицы, которые должны быть потушены лесными пожарными, охраняющими лес за противопожарным барьером.



Зависимость скорости лесного пожара от ISI в сосняках с высотой древостоя до 10 м (а) и более 10 м (б)

Таким образом, ширину выжженной полосы перед фронтом верхового пожара целесообразно сделать не менее 220 м. Это расстояние кромка отжига пройдет за время $t_b = 220/V_T$ мин.

Таким образом, при пуске отжига для остановки фронта верхового пожара минимальное расстояние от него до опорной полосы (L_b , м) составит

$$L_b = (V + V_T) t_b. \quad (17)$$

Необходимо отметить, что при оценочных расчетах не учитывались способы ускорения огня отжига (гребенка, пятнистое поджигание, опережающий огонь, ступенчатый отжиг), которые применяют при не очень сильном ветре, наличии широкой опорной полосы или нескольких опорных полос. Эти способы позволяют сократить минимальные расстояния, рассчитанные предложенным методом.

Разработанный метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига можно использовать в сосновых лесах всех регионов бореальной зоны России для равнинной местности. Экспериментальную проверку метод прошел в сосняках Лужского и Приозерского районов Ленинградской области. Погрешность метода не превышала 15 %.

Представленные здесь научные результаты имеют большое практическое значение при борьбе с крупными лесными пожарами и защите от огня людей, населенных пунктов и объектов инфраструктуры, т. е. в тех случаях, когда отжиг является единственным эффективным средством борьбы с огнем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев В.Г., Лопухова Е.Л., Дубовый В.К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // Лесн. журн. 2012. № 1/325. С. 134–145. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Гусев В.Г., Корчунова И.Ю. О методе расчета скорости распространения лесного низового пожара // Лесные пожары и борьба с ними: сб. науч. тр. Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. С. 31–50.
3. Гусев В.Г. Упрощенная методика расчета скорости распространения лесного низового пожара // Тр. СПбНИИЛХ. СПб., 2001. Вып. 4(8). С. 208–217.
4. Гусев В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах. СПб.: Хромис, 2005. 199 с.
5. Нестеров В.Г., Гриценко М.В., Шабунина Т.А. Использование температуры точки росы при расчете показателя горимости леса // Метеорология и гидрология. 1968. № 9. С. 102–104.
6. Определение природной пожарной опасности в лесу (методические рекомендации) / С.М. Вонский, В.А. Жданко, В.И. Корбут [и др.]. Л.: ЛенНИИЛХ, 1975. 38 с.
7. Определение природной пожарной опасности в лесу: метод. рек. / С.М. Вонский [и др.]. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. 52 с.
8. Albini F.A., Vaughman R.G. Estimating wind speeds for predicting wildland fire behavior // USDA Forest Service Research Paper INT-221. Ogden, Utah, 1979. 89 p.
9. Development and structure of the canadian forest fire behavior prediction system / M.E. Alexander, B.D. Lawson, B.J. Stocks, C.E. Van Wagner. Science and sustainable development directorate. Inf. Rep. ST-X. Ottawa, 1992. 62 p.

10. *Rothermel R.C.* A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels: USDA Forest service research paper INT-115. Ogden, Utah, 1972. 40 p.

11. *Van Wagner C.E.* Development and structure of the canadian forest fire weather index system. Forestry technical report 35. Canada, Ottawa, 1987. 37 p.

Поступила 20.10.11

V.G. Gusev¹, V.K. Dubovy¹, E.L. Lopukhova¹, V.A. Iritsyan²

¹Saint-Petersburg Forestry Research Institute

²JSC Park and Garden Enterprise "Vyborgskoye"

Method of Estimating Minimum Distance from the Base Strip to the Fire Edge During Controlled Burning Start

On the basis of research into the nature of forest fires and mathematical modeling of their spread, a new method of estimating minimum distance from the base strip to the fire edge during controlled burning start is suggested. The method allows us to evaluate the possibility of stopping the edge of a forest fire with the help of controlled burning and assess the width of the burnt strip.

Key words: forest fire, surface fire, crown fire, firefront stop, controlled burning start, base strip.
