

С.В. Гундар, М.М. Данилов, А.Н. Денисов, И.Д. Опарин
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: dan_aleks@mail.ru)

РЕСУРСНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Представлены результаты экспериментальных исследований интенсивности подачи и расхода воды при использовании ранцевого огнетушителя. Проведено обоснование сил и средств для тушения низового лесного пожара.

Ключевые слова: пожар, тушение, интенсивность, расход воды, ранцевый огнетушитель, лес, ресурсное обоснование.

S.V. Gundar, M.M. Danilov, A.N. Denisov, I.D. Oparin

RESOURCE SUBSTANTIATION OF FORCES AND MEANS FOR SUPPRESSION OF LOCAL FOREST FIRE

Results of experimental researches of intensity and expense of water are presented when using the bag fire extinguisher. Justification of forces and means for suppression of local forest fire is carried out.

Key words: a fire, suppression, intensity, the water expense, the bag fire extinguisher, wood, a resource substantiation.

Линейная интенсивность подачи и расход воды при ресурсном обосновании сил и средств, необходимых для тушения низового лесного пожара, являются ключевыми. Под линейной интенсивностью подачи воды понимается количество воды, подаваемое в единицу времени на единицу длины кромки низового лесного пожара, которое, определяется опытным путём и расчётами при анализе потушенных лесных пожаров. При ширине кромки пожара, равной 1 м, линейная интенсивность подачи воды численно равна интенсивности подачи её по площади.

В табл. 1 приведены среднестатистические данные по скорости тушения кромки низовых лесных пожаров ранцевым лесным огнетушителем РЛЮ-М при подносе воды на расстояние до 100 м в зависимости от интенсивности пожара [1, 2].

Таблица 1

Скорость тушения кромки низового пожара, м/час

Вид низового пожара	Интенсивность пожара		
	высокая	средняя	низкая
устойчивый	20-40	40-80	80-150
беглый	30-50	50-100	100-200

Взяв за основу данные табл. 1, определим расход воды Q и время её подачи τ_0 при тушении кромки низового лесного пожара длиной 1 м низкой интенсивности

$$Q = \frac{q \cdot \tau \cdot k}{L}; \quad (1)$$

$$\tau_0 = \frac{\tau}{L}, \quad (2)$$

где q – производительность гидропульта РЛЮ-М (2,25 л/мин);
 τ – время тушения кромки лесного пожара (60 мин);
 k – коэффициент использования рабочего времени ($k = 0,85$);
 τ_0 – время подачи воды на 1 м длины кромки пожара, мин;
 L – длина кромки низового лесного пожара (100 м).

Подставив приведённые значения в выражения (1), (2), получим:

$$Q = \frac{2,25 \cdot 60 \cdot 0,85}{100} = 1,15 \text{ л/м};$$

$$\tau_0 = \frac{3600}{100} = 36 \text{ с}.$$

Результаты расчётов для других видов пожаров и интенсивностей подачи воды сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Расход воды и время её подачи при тушении кромки
низового лесного пожара длиной 1 м с использованием РЛЮ-М**

Вид низового пожара	Интенсивность пожара		
	высокая	средняя	низкая
а) расход воды, л/м			
устойчивый	5,75-2,88	2,88-1,44	1,44-0,77
беглый	3,83-2,3	2,3-1,15	1,15-0,58
б) время подачи воды, с			
устойчивый	180-90	90-45	45-24
беглый	120-72	72-36	36-18

К одному из основных диагностических признаков для определения интенсивности беглого низового пожара относят скорость его распространения. У пожара слабой интенсивности скорость до 1 м/мин, средней – от 1 до 3 м/мин, высокой – свыше 3 м/мин [1].

В работе [3] приведены характеристики горения при низовых пожарах на опытных участках в сосновом лесу и на зарастающих гарях. Интерес представляют характеристики 46 пожаров. Из них со скоростью распространения до 1 м/мин – 6 пожаров, со скоростью от 1 до 3 м/мин – 20 пожаров, со скоростью свыше 3 м/мин – 20 пожаров.

У пожаров, распространяющихся со скоростью до 1 м/мин, ширина кромок варьируется от 0,7 до 0,8 м; время сгорания лесного горючего материала на кромках – от 47 до 68 с.

У пожаров, распространяющихся со скоростью от 1 до 3 м/мин, ширина кромок варьируется от 0,8 до 6,8 м; время сгорания – от 38 до 184 с.

У пожаров, распространяющихся со скоростью свыше 3 м/мин, ширина кромок варьируется от 5 до 9 м; время сгорания – от 64 до 114 с.

Сравнивая приведённые данные со среднестатистической продолжительностью подачи воды при тушении лесного пожара с использованием РЛЮ-М (табл. 2), определили, что время, в течение которого происходит горение лесных горючих материалов на кромках рассматриваемых пожаров, распространяющихся со скоростью

свыше 3 м/мин, в результате тушения не сокращается;

от 1 до 3 м/мин, в результате тушения сокращается до 2 раз;

до 1 м/мин, в результате тушения сокращается до 1,5 раз.

Полученные результаты объясняются, в основном, двумя причинами:

– при скорости распространения пожара свыше 3 м/мин интенсивность горения $I_{гор}$ (мощность тепловыделения с 1 погонного м кромки пожара) превышает 750 кВт/м; при скорости от – 1 до 3 м/мин интенсивность горения от 101 до 750 кВт/м; при скорости до – 1 м/мин интенсивность горения до 100 кВт/м [1];

– охлаждающий эффект воды (без учёта потерь), подаваемой при тушении пожара с помощью РЛЮ-М, составляет:

$$Q_{охл}^{РЛЮ-М} = \frac{q \cdot Q_{охл}^{удел}}{60} = \frac{2,25 \cdot 4400}{60} = 165 \text{ кВт},$$

где $Q_{охл}^{РЛЮ-М}$ – удельный эффект охлаждения (1 л воды, введённой в зону горения при полном испарении и нагревании паров воды до температуры пламени, способен отнять 4400 кДж/л).

Следовательно, наибольшее значение охлаждающий эффект подаваемой на тушение пожара воды достигает:

– при скорости распространения пожара свыше 3 м/мин

$$\frac{Q_{охл}^{РЛЮ-М} \cdot 100 \%}{I_{гор}} = \frac{165 \cdot 100 \%}{750} = 22 \%$$

от наименьшего значения интенсивности горения;

– при скорости распространения пожара от 1 до 3 м/мин

$$\frac{165 \cdot 100 \%}{100} = 165 \%$$

от наименьшего значения интенсивности горения;

– при скорости распространения пожара до 1 м/мин многократно превышает интенсивность горения.

Таким образом, отсутствие заметного влияния водного способа тушения пожаров РЛЮ-М на сокращение времени горения лесных горючих материалов на кромках пожаров, распространяющихся со скоростью свыше 3 м/мин, можно объяснить недостаточным охлаждающим эффектом подаваемой воды, в сравнении с интенсивностью горения.

В целях получения дополнительной информации о технологии функционирования РЛО-М на кромках пожаров, проведены наблюдения за изменениями площади и интенсивности орошения горизонтальных поверхностей распылённой струёй в зависимости от угла наклона гидропульта РЛО-М. На рис. 1 показана поверхность орошения распылённой струёй. Гидропульт установлен под углом $\varphi = 25$ градусов к горизонтальной поверхности на высоте $h = 1,5$ м. Орошаемая поверхность принимает эллиптическую форму площадью $1,02$ м².

Наблюдения осуществлялись в лабораторных и естественных условиях. При естественных условиях температура воздуха была $+18$ °С, скорость ветра до 3 м/с.

Для замера интенсивности орошения использовались влагопоглощающие материалы размерами 5×5 см, равномерно размещённые на орошаемой поверхности. Время работы гидропульта при одном измерении варьировалось от 1 до 5 с. Повторяемость измерений – пятикратная. Масса воды, накапливаемая влагопоглощающими материалами, определялась их взвешиванием до и после орошения. Общее число влагопоглощающих материалов, задействованных при одном измерении, достигало 250 в зависимости от размера и формы поверхности орошения.

Граница поверхность орошения определялась визуально по смоченной поверхности.

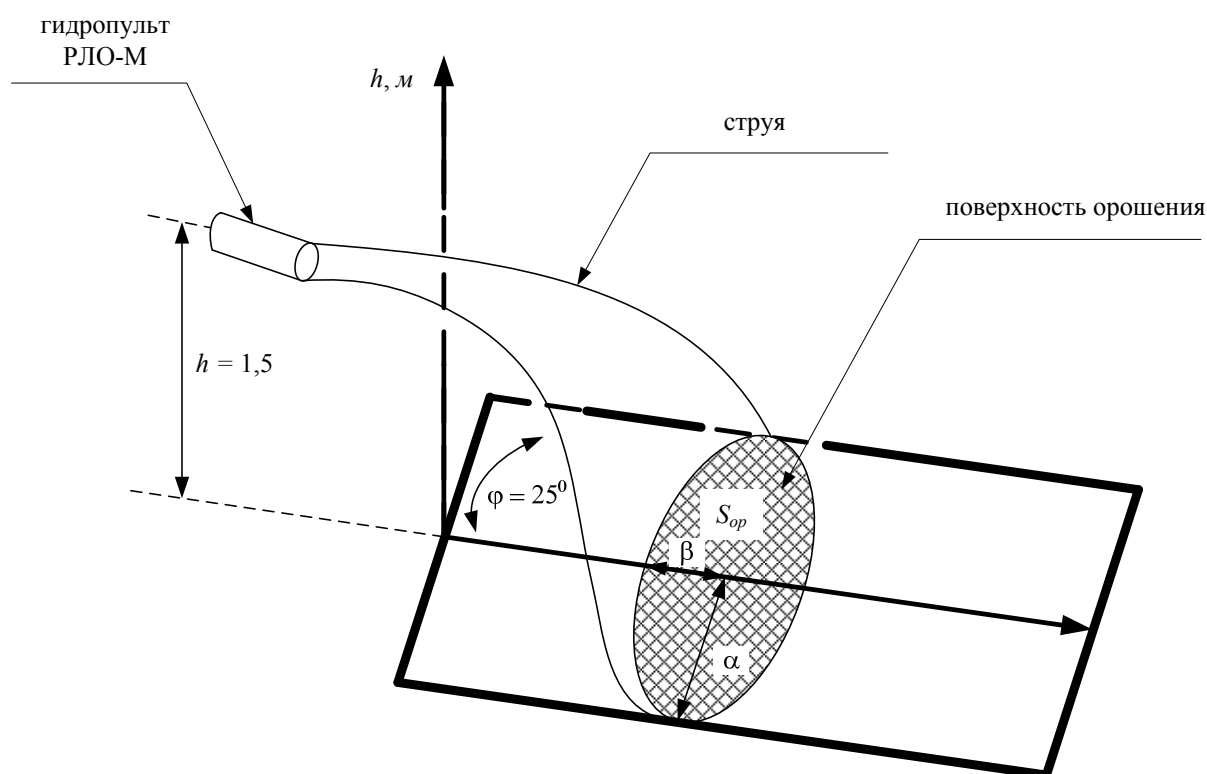


Рис. 1. Поверхность орошения ранцевым огнетушителем (распылённая струя)

На рис. 2 показан характер орошения распылённой струёй. В табл. 3 приведены полученные результаты.

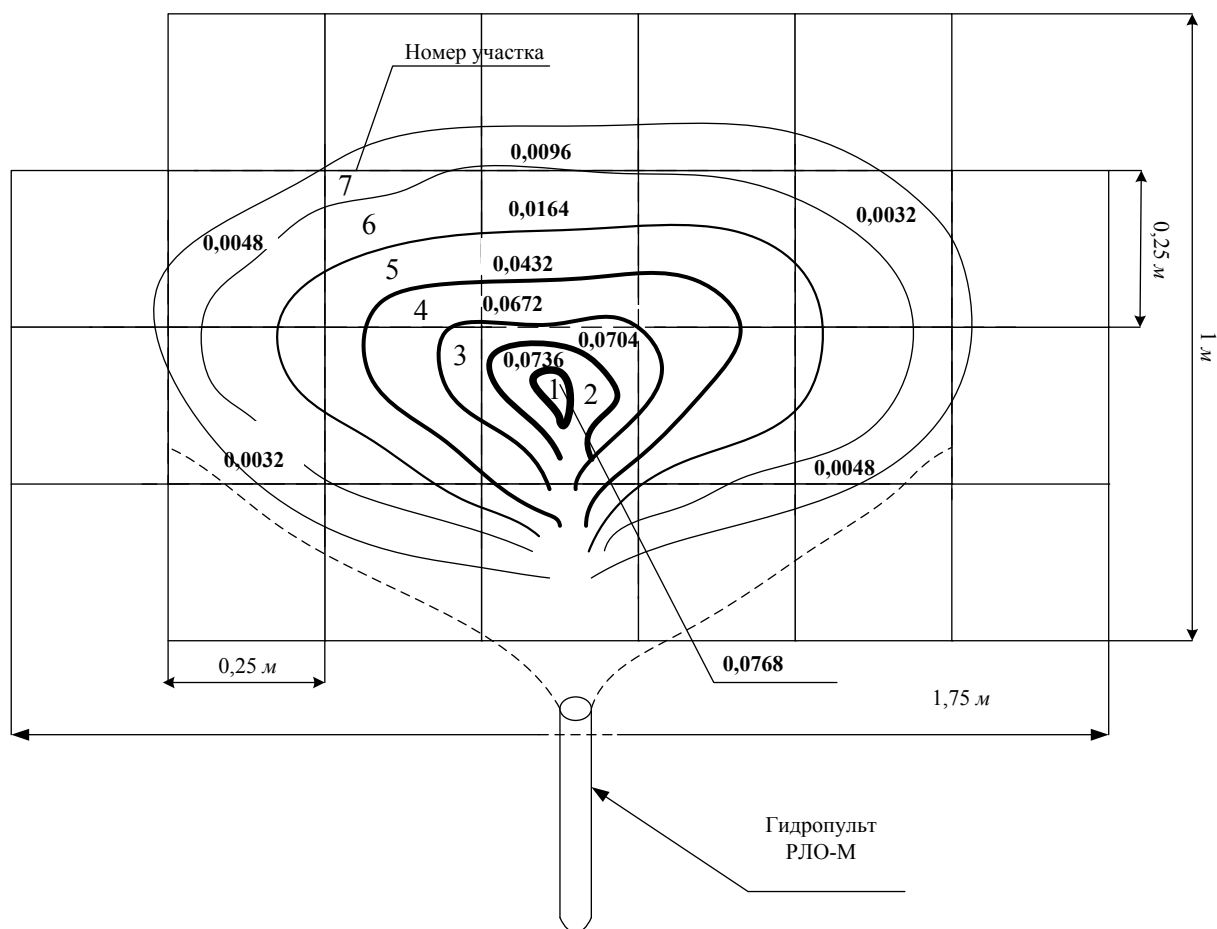


Рис. 2. Эпюры интенсивности подачи воды из ранцевого огнетушителя распылённой струёй

Таблица 3

Интенсивность орошения и расхода воды на горизонтальной поверхности при использовании РЛО-М

№ участка	Площадь				Интенсивность орошения, л/м ² ·с		Расход воды			
	одного участка		всех участков		максимальная	минимальная	на одном участке		на всех участках	
	м ²	%	м ²	%			л/с	%	л/с	%
1	0,00221	0,29	0,00221	0,29	0,0768	0,0768	0,00017	0,45	0,00017	0,45
2	0,01477	1,97	0,01698	2,26	0,0768	0,0736	0,00111	2,96	0,00128	3,34
3	0,05038	6,7	0,06736	8,96	0,0736	0,0704	0,00363	9,68	0,00491	13,09
4	0,06945	9,24	0,13681	18,21	0,0704	0,0672	0,00478	12,75	0,00969	25,84
5	0,17914	23,84	0,31575	42,05	0,0672	0,0432	0,00989	26,37	0,01958	52,21
6	0,19233	25,6	0,50828	67,65	0,0432	0,0164	0,00573	15,28	0,02531	67,49
7	0,24310	32,36	0,75138	100	0,0164	0,0048	0,00258	6,88	0,02789	74,37
Итого	0,75138	100					0,02789			

Из анализа данных рис. 2. и табл. 3. следует, что интенсивность смачивания поверхности неравномерна. Центральная её часть длиной около 0,8 м и площадью ($S_{\text{центр}}$) – 0,31595 м² (42,05 %) орошается с интенсивностью от ($I_{\text{мин}}$) – 0,0432 до ($I_{\text{макс}}$) – 0,0768 л/м²·с. На нём зарегистрировано ($Q_{\text{центр}}$) – 0,01958 л воды (52,21 %). Ширина центральной части неравномерна. Она уменьшается в начальной и конечной её частях. В связи с этим расчётная длина ($L_{\text{рас}}$) орошаемой поверхности интенсивностью более 0,01432 л/м²·с уменьшена до 0,6 м. Среднее значение интенсивности орошения центральной части равно

$$I_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{центр}}}{S_{\text{центр}}} = \frac{0,01958}{0,31595} = 0,062 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}$$

Если учитывать, что:

– распространение всех низовых лесных пожаров прекращается после выпадения атмосферных осадков ($Q_{\text{осад}}$) – 5 мм и более;

– уменьшение интенсивности смачивания горящего материала увеличивает расход на тушение. Например, по данным [4], при тушении древесины уменьшение интенсивности с 0,0768 до 0,0432 л/м²·с увеличивает расход на тушение в 1,34 раза, при средних значениях ($K_{\text{ср}}$) 1,17,

то максимальное время использования РЛО-М ($\tau_{\text{макс}}$) для смачивания поверхности лесных горючих материалов перед кромкой пожара высокой интенсивности на длине кромки 0,6 м (до момента, когда распространение горения останавливается) составит

$$\tau_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{осад}} \cdot K_{\text{ср}}}{I_{\text{ср}}} = \frac{5 \cdot 1,17}{0,0620} = \frac{5,85}{0,0620} = 94,4 \text{ с};$$

на длине кромки 1 м – увеличивается в 2 раза

$$\frac{\tau_{\text{макс}}}{L_{\text{макс}}} = \frac{94,4}{0,6} = 157,3 \text{ с.}$$

Следует отметить, что полученные расчётные величины расхода воды и времени тушения низового пожара высокой интенсивности согласуются со среднестатистическими показателями табл. 2.

По данным [1, 4] и табл. 3 получены средние значения:

– мощностей тепловыделения с 1 м² площади кромки пожара. Для пожаров, распространяющихся со скоростью свыше 3 м/мин – 742 кВт/м², со скоростью от 1 до 3 м/мин – 408 кВт/м², со скоростью до 1 м/мин – 281 кВт/м²;

– мощностей тепловыделения с площадями, орошаемых водой с помощью РЛО-М, интенсивностью от 0,0432 до 0,0768 л/м²·с. Для пожаров, распространяющихся со скоростью свыше 3 м/мин, – 270 кВт, со скоростью от 1 до 3 м/мин – 148 кВт, со скоростью до 1 м/мин – 102 кВт;

– потерь воды, подаваемой на горящие лесные горючие материалы с использованием РЛО-М распылённой струёй, за счёт орошения части площадей интенсивностью менее 0,04 л/м²·с, испарения в предпламенной зоне и в пламени, уноса конвективными потоками, ветром и др. Эти потери достигают 78,5 %.

Эффект охлаждения на 0,5 м длины кромки пожара составляет 35,2 кВт, на 1 м длины – 70,4 кВт.

Также есть предпосылки для успешного тушения беглых низовых пожаров с высотой пламени до 0,5 м путём подачи воды на горящие лесные материалы, так как тепловыделение на кромках таких пожаров достигает 1 тыс. ккал/м·мин, то есть 70 кВт/м.

Для низовых пожаров с высотой пламени, превышающей 0,5 м, технология тушения заключается в осаждении пламени и смачивании прилегающих к кромке, ещё не горящих лесных материалов. На подготовку их к горению используется только часть тепла. Например, у компактных слоёв (плотноопадный, влажномшистый и сухомшистый типы) использование тепла составляет лишь 4-5 %.

К сожалению, недостаток информации на сегодняшний день не позволяет назвать оптимальное соотношение расходов воды на осаждение пламени и на смачивание прилегающих к кромке лесных горючих материалов, например, в зависимости от высоты пламени, характеристики слоя лесных материалов и т.д. Работу по изучению этих вопросов планируется продолжить.

Выводы

Из результатов наблюдений за функционированием ранцевого лесного огнетушителя РЛО-М по подаче распылённой струи воды (2,25 л/мин) на горизонтальную поверхность следует:

- поверхность орошения имеет эллиптическую форму площадью 0,75 м²;
- интенсивность смачивания поверхности неравномерна, центральная часть длиной около 0,8 м², где интенсивность превышает 0,0432 л/м²·с, занимает 42,1 % общей площади, на неё поступает до 52,2 % общего расхода воды;
- потеря воды при тушении охлаждением горящих лесных материалов на кромках пожаров достигает 81,5 %;
- возможно успешное тушение беглых низовых пожаров с высотой пламени до 5 м путём подачи воды на горящие лесные материалы на кромке;
- для низовых пожаров с высотой пламени, превышающей 0,5 м, подойдёт технология тушения, когда одновременно или периодически вода направляется на осаждение пламени и на охлаждение материалов перед кромкой пожара.

Поиск оптимального соотношения между расходом на осаждение пламени и на смачивание горючего материала перед кромкой пожара требует продолжения изучения технологии тушения лесных низовых пожаров ранцевым опрыскивателем.

Литература

1. **Рекомендации** по тушению и обнаружению лесных пожаров // Сборник организационно-распорядительных документов по охране лесов от пожаров. М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1997. С. 27-113.
2. **Гундар С.В., Пахомов А.И.** Ранцевый лесной опрыскиватель РЛО-М. Хабаровск: Хабаровский межотраслевой ЦНТИ, информационный листок № 268, 1969. 3 с.
3. **Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Сафронов М.А.** Крупные лесные пожары. М.: Наука, 1979. 198 с.
4. **Цариченко С.Г.** Некоторые вопросы пожаротушения тонкораспылённой водой // Средства спасения. Противопожарная защита. Каталог. 2004. С. 203-205.