

С.В. Гундар, А.Н. Денисов
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: dan_aleks@mail.ru)

ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОДАЧИ ВОДЫ НА ТУШЕНИЕ КРОМКИ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Обоснованы расчётные значения нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки низового лесного пожара в зависимости от высоты пламени.

Ключевые слова: интенсивность, низовой пожар, тушение, пламя, кромка пожара.

S.V. Gundar, A.N. Denisov

JUSTIFICATION OF THE REGULATORY INTENSITY OF WATER SUPPLY FOR EXTINGUISHING FOREST FIRES EDGE GRASSROOTS

Substantiated regulatory intensity calculated values of water supply for extinguishing forest fires grassroots edge depending on the height of the flame.

Key words: intensity, ground fire, quenching, flame, edge fire.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 26 марта 2014 г.

Выбор методов, способов и средств тушения лесного пожара зависит от многих граничных условий (рельефно-ландшафтных, растительных, погодных и др.) в момент тушения. Для расчётного обоснования прямого метода тушения лесного пожара одним из основных параметров является интенсивность подачи воды на тушение кромки пожара.

Кромка лесного пожара – полоса горения, непрерывно продвигающаяся по горячему материалу, на которой сгорание основного горючего материала происходит с максимальной для данного пожара плотностью тепловыделения. [1].

При определении интенсивности подачи воды на тушение кромки низового лесного пожара были использованы характеристики горения на опытных участках в сосняках, лиственничниках зарастающих гарях [2]. Учтены отдельные положения *Руководства по определению параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой (Руководство)* [3], согласно которому:

- интенсивность, а также продолжительность подачи воды на тушение являются основными нормативными параметрами устройств, характеризующими их огнетушащую эффективность;

- интенсивность подачи *тонкораспыленной воды (ТРВ)* должна быть достаточной для поглощения тепла, выделяемого при пожаре;

- скорость выгорания веществ не является физико-химической константой. Она зависит от их природы, условий тепло- и массопереноса в зоне пожара;

- разнообразие расположения твёрдых горючих материалов (плотность, высота, равномерность распределения и т.п.) и условия подачи воды (дисперсность, скорость и направление потока распылённой воды) затрудняют создание универсальной модели для определения требуемых интенсивностей и времени орошения, обеспечивающих успешное пожаротушение;

- интенсивность подачи воды на тушение каждого вида горючего материала проверяются экспериментально путём проведения огневых опытов;

- при проведении испытаний распылительных устройств ТРВ необходимо заранее выбирать способы размещения **твёрдых горючих материалов (ТГМ)** и подачи воды, соответствующие реальным условиям их хранения на данном конкретном объекте;

- модельные очаги горения из ТГМ (или изделия из них) для огневых испытаний должны быть уложены так, как их хранят или используют в реальных условиях (то есть в штабелях, кипах, рулонах, насыпном виде и т.д.), и иметь сходные физические характеристики (плотность, влажность, температуру, состояние поверхности и т.д.), отличающиеся не более чем на 10 % от характеристик, наблюдаемых в реальных условиях.

Авторы данной статьи полагают, что ненарушенный до пожара и лежащий в естественном состоянии на поверхности почвы слой **лесных горючих материалов (ЛГМ)** отвечает перечисленным условиям. Следует отметить, что этот слой подвергается периодически послойному увлажнению, высыханию и обновлению. Между ним и почвой происходит постоянный тепломассоперенос. Состав ЛГМ, их состояние, размещение и степень разложения по территории сильно варьируют и т.д.

Пример. Характеристики горения и его условий на опытном участке [2].

1. Категория участка: сосняк голубичный.

2. Древостой – 7С 1Л 10С 1Б; подрост – С, Л, 10-12 лет, редкий; травяно-кустарниковый ярус – голубика, черника; мохово-лишайниковый ярус – зеленые мхи.

3. Запас сгорающих при пожаре ЛГМ ($кг/м^2$): мохово-лишайниковый покров вместе с опадом, ветошью травы и опавшими сучками до 1 см – 0,4; подстилка – 0,95; трава и кустарнички, зеленая хвоя и листья подлеска, подрост и древостоя – 0,15; опавшие сучья от 1 до 5 см диаметром – 0,3; валежник диаметром более 5 см – 1,8.

4. Погодные условия во время пожара на опытном участке: температура воздуха – 23 °С; относительная влажность воздуха – 24 %; лесопожарный показатель засухи Нестерова – 10964 единиц; скорость ветра на высоте 2 м на открытой местности – 3,8 м/с.

5. Характеристика фронтальной кромки пожара в пределах опытного участка: длина наиболее интенсивно горящей части кромки – 75 м; ширина кромки (b) – 7,0 м; высота пламени (h) – 2,5 м; скорость продвижения кромки (v) – 5,6 м/мин; интенсивность пожара – 80 тыс. ккал/м×мин (5582,4 кВт/м).

б. Интенсивность пожара определяли путем учёта количества ЛГМ, сгоревшего в единицу времени с единицы длины фронта пожара, то есть путём учёта калорийности сгоревшего материала (m , $кВт/м$).

Для определения интенсивности подачи воды на тушение кромки низового лесного пожара необходимо знать плотность тепловыделения, то есть то количество тепла, выделяющееся в единицу времени с единицы площади кромки пожара, которое должно быть поглощено водой при тушении (J_T , $кВт/м^2$).

У внешней границы кромки интенсивность пожара выше. Здесь горит весь запас ЛГМ, факел пламени, как правило, сплошной, без разрывов. Тонкие горючие элементы – листья, хвоинки, тонкие сучья и прочее, в основном успевают сгореть полностью. В результате плотность слоя ЛГМ становится все ниже и ниже. Расстояние между более крупными горящими элементами освобождается от огня уничтоженных тонких элементов. Менее интенсивным становится процесс взаимного теплообмена. Факел пламени оседает, теряет сплошность, разбивается на отдельные мелкие очаги. Появляются места беспламенного горения и прогоревшие участки, площадь которых и их число увеличиваются по мере удаления внешней границы кромки и приближения внутренней.

Средняя скорость выгорания лесной древесины по толщине, в зависимости от породы древесины и условий горения, колеблется в диапазоне 0,5-1 $мн/мин$ [6]. Поэтому крупные сучья, ветки и т.д. часто не сгорают полностью на кромке пожара. Они либо догорают за пределами кромки, либо остаются в виде головешек на территории, пройденной пожаром.

На кромке пожара одновременно горят как неразложившиеся сучья, ветки и другие ЛГМ, так и лесные материалы, подвергшиеся в различной степени гнили. Последние обладают другими физико-химическими свойствами, что отражается на характере горения. Например, калорийность их ниже.

По [6], при расстоянии между горящими элементами в лесу более 0,5-1 $м$ суммарный тепловой поток от зоны горения к горящим поверхностям древесины становятся ниже 10-15 $кДж/м^2$ и пламенное горение на этом участке прекращается. Горение переходит в режим тления. В зависимости от условий и обстоятельств, тление может длиться ещё в течение нескольких часов. После чего горение древесины, как правило, прекращается. Именно поэтому горючий материал лесного массива почти никогда не выгорает полностью. В горных лесах на пожарище до 50 % горючего материала остается несгоревшими.

Часто горящие частицы, поднятые вверх с кромки пожара конвективными потоками, перемещаются на сотни метров в горизонтальной плоскости за пределы пожара. В зависимости от материала, величины и времени полета частиц они могут или сгореть в воздухе, или выпасть на землю и зажечь напочвенный покров.

Время пребывания ЛГМ и их остатков на кромке пожара (τ) определяется зависимостью:

$$\tau = \frac{b}{v}, \text{ мин.} \quad (1)$$

Подставив значения ширины кромки пожара (b) и скорости её распространения (v) в зависимость (1), получаем

$$\tau = \frac{7}{5,6} = 1,25 \text{ мин (75 с)}.$$

Среднее значение калорийности сгоревшего ЛГМ на кромке пожара в единицу времени с единицы площади кромки (n) определяется зависимостью

$$n = \frac{m}{b}, \text{ кВт/м}^2. \quad (2)$$

Подставив значения интенсивности кромки пожара (m) и ширины кромки (b) в зависимость (2), получаем

$$n = \frac{5582,4}{7} = 797,5 \text{ кВт/м}^2.$$

Однако для определения плотности тепловыделения, кроме калорийности запаса ЛГМ, сгорающего на кромке пожара, необходимо знать ещё механический и химический недожог.

Механический недожог – когда часть ЛГМ не сгорает полностью или частично на кромке пожара, а поднимается вверх с кромки пожара конвективными потоками и перемещается в горизонтальной плоскости за пределы пожара; догорает за пределом кромки на территории пройденной пожаром, оставляя на ней часто угли и головёшки. Механический недожог для напочвенных растительных материалов при горении в лесу может достигать почти 100 %.

Химический недожог – когда часть продуктов теплового разложения остается неокисленными. Средняя величина химического недожога для напочвенных растительных материалов при горении в лесу, по данным [4], находится в интервале 60 ± 20 %.

Нами не найдены математические или другие модели по определению или прогнозированию недожога при лесных пожарах. Каждый участок слоя ЛГМ индивидуален и на конкретное время имеет свою величину недожога. Осадки в лесу выпадают неравномерно и носят пятнистый характер. В связи с этим возникли затруднения в определении действительной интенсивности тепловыделения на кромке пожара.

Из литературных источников [2, 5] плотность тепловыделения на кромке (J_T) можно оценить по высоте (длине) пламени (h). Предлагается эмпирическая зависимость для тепловыделения на кромке (q):

$$q = (13 \times h)^{2,17}, \text{ кВт/м}, \quad (3)$$

где в качестве тепловой характеристики кромки пожара использована высота пламени. Высота пламени доступна для её оценки путем визуального осмотра. Мы полагаем, что зависимость (3) учитывает недожог ЛГМ. Поэтому адаптация (модернизация) указанной зависимости для применения её для определения интенсивности подачи воды на тушение кромки пожара путем поглощения тепла, выделенного при пожаре, и расчётах сил и средств пожаротушения будет полезна.

На рис. 1 показан пример взаимосвязи высоты пламени и ширины кромки пожара. Значения h и b получены на 52 пожарах в сосновых и лиственных лесах и на зарастающих гарях [2]. Для значений $0,6 \leq b \leq 9$ м взаимосвязь представлена зависимостью

$$b = (3,5 \times h - 1,5), \text{ м.} \quad (4)$$

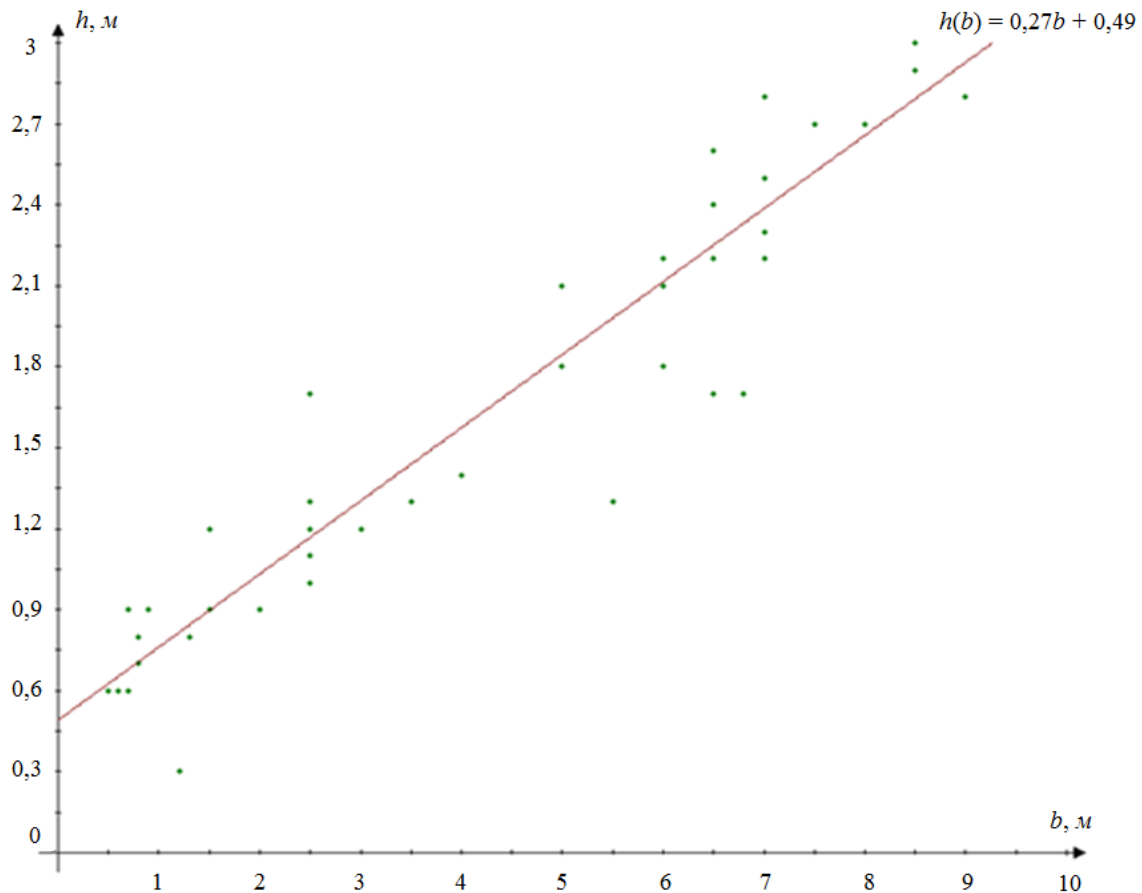


Рис. 1. Взаимосвязь высоты пламени (h) и ширины кромки пожара (b) на опытных участках в сосновых и лиственных лесах, а также зарастающих гарях

Используя зависимости (3) и (4), найдём среднее значение плотности тепловыделения на кромке пожара, то есть среднее значение количества тепла для поглощения водой при тушении (J_T):

$$J_T = \frac{q}{b} = \frac{(13 \times h)^{2,17}}{3,5 \times h - 1,5}, \text{ кВт/м}^2. \quad (5)$$

С использованием зависимости (5) определяем J_T , например, при высоте пламени $h = 2$ м получим

$$J_T = \frac{(13 \times 2)^{2,17}}{3,5 \times 2 - 1,5} = 213,9 \text{ кВт/м}^2.$$

Расчётное значение критической интенсивности подачи воды на тушение ($J_{кр}$), которая обеспечит поглощение тепла, выделяемого при пожаре на его кромке, определяется зависимостью

$$J_{кр} = \frac{J_T}{Q}, \text{ л/м}^2 \text{ с}, \quad (6)$$

где Q – удельный эффект охлаждения воды, кДж/л .

Удельный эффект охлаждения 1 л воды, введенной в факел пламени, при полном испарении и нагревании воды до температуры пламени:

$$Q = 4400 \text{ кВт/л.}$$

Подставив значения плотности тепловыделения (τ) и удельного эффекта охлаждения (Q) в зависимость (6), получим значение критической интенсивности ($J_{кр}$):

$$J_{кр} = \frac{213,9}{4400} = 0,0486, \text{ л/м}^2\text{с.}$$

По [2], нормативная интенсивность подачи воды на тушение (J_n) определяется зависимостью:

$$J_n = K_3 \times J_{кр}, \text{ л/м}^2\text{с}, \quad (7)$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий особенности использования или хранения горючих материалов или изделий из него в конкретных условиях ($K_3 = 1,5-2$) (для лесных пожаров величина K_3 не сообщается);

$J_{кр}$ – критическая интенсивность (минимальное значение интенсивности подачи воды, ниже которого горение не прекращается, как бы долго вода ни подавалась). Определяют в серии огневых опытов (не менее 4-5) с различной интенсивностью орошения.

Полученные расчётным путём значения нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки лесного пожара требуют экспериментального подтверждения на тушении опытных и реальных лесных пожаров. Необходимые исследования по подтверждению планируются. О некоторых особенностях планируемых работ сказано ниже.

Подставив значения критической интенсивности ($J_{кр}$) и коэффициента запаса ($K_3 = 2$) в зависимость (7), получим значение нормативной интенсивности. Значение коэффициента запаса принято наибольшим из рекомендованных Руководством [3].

$$J_n = 2 \times 0,0486 = 0,0972, \text{ л/м}^2\text{с.}$$

Результаты определения нормативной интенсивности подачи воды на тушение низового лесного пожара при других размерах пламени по высоте сведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчётные значения нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки низового лесного пожара

Высота пламени $h, м$	Ширина кромки пожара $b, м$	Плотность тепловыделения на кромке пожара $J_{т}, \text{ кВт/м}^2$	Интенсивность подачи воды на тушение кромки пожара, $\text{л/м}^2\text{с}$	
			Критическая $J_{кр}$	Нормативная J_n
1,0	1,9	137,56	0,0313	0,0626
1,5	3,75	168,01	0,0382	0,0764
2,0	5,6	210,07	0,0477	0,0954
2,5	7,45	256,23	0,0582	0,1164
3,0	9,3	304,88	0,0693	0,1386

Данные табл. 1 показывают наличие зависимости нормативной интенсивности подачи воды на тушение от высоты пламени. При увеличении высоты нормативная интенсивность возрастает.

Следовательно, потребность в силах и средствах пожаротушения и затратах на выполнение работ будет больше. Полагаем, что высота пламени может служить показателем для определения нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки низового лесного пожара.

По [6, 7]:

- нормативная интенсивность на тушение лесных пожаров должна быть $0,1 \text{ л/м}^2 \text{ с}$;

- если превысить интенсивность подачи воды, то резко вырастет толщина слоя воды на протушивание поверхности и, соответственно, возрастёт скорость стекания с протушенных поверхностей. Это увеличит потери воды в процессе тушения ТГМ;

- при меньшей интенсивности подачи воды время подачи минимального количества воды (5 л/м^2), необходимого для тушения лесного пожара, возрастёт и, соответственно, возрастет расход воды на тушение пожара и требуемого её количества на завершение процесса тушения;

- кроме того потери воды возрастают от невозможности подачи воды на некоторые открытые поверхности горения, от несвоевременности подачи воды на весь очаг горения, от пролива части подаваемой воды мимо очага горения и по многим другим причинам.

В [6] не сообщается о зависимости нормативной интенсивности подачи воды на тушение лесных низовых пожаров от вида горючих материалов, интенсивности пожара, характера тепловыделения и других факторов.

Для снижения необходимости в водных способах тушения лесных пожаров рекомендуется максимально использовать имеющиеся в лесу рубежи и преграды, прокладывая заградительные и опорные минерализованные полосы. Непосредственное тушение кромки пожара осуществлять в наиболее удобное для этого время – вечер, ночь, утро. Повышать эффективность водного способа тушения, создавая перед надвигающейся кромкой пожара смоченную водой полосу ЛГМ (на подготовку к горению примыкающего к кромке и еще не горящего материала используется только часть выделяющегося на кромке тепла). На остановленной кромке пожара по мере выгорания материала горение слабеет и прекращается. Расход воды на создание смоченной заградительной полосы зависит от интенсивности подачи воды на защищаемый слой ЛГМ.

Отмеченные выше три вида интенсивности подачи воды направлены на:

- поглощение тепла, выделяемого при пожаре на его кромке;
- протушивание и охлаждение уже негорящего слоя материала на кромке;
- охлаждение слоя материала на заградительной полосе перед кромкой пожара.

Для расчёта сил, средств и расходов на пожаротушение требуется продолжать изучение расходов воды на отдельные виды работ при тушении лесных пожаров. Изучение планируется продолжить и уточнить калькуляцию расходов воды на тушение кромки лесного низового пожара. По замыслу, калькуляция должна быть в абсолютных или долегах показателях.

Выводы

Из результатов определения интенсивности подачи воды на тушение кромки лесного низового пожара следует:

- высота пламени может использоваться для оценки нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки пожара;
- нормативная интенсивность подачи воды на тушение кромки пожара возрастает при увеличении высоты пламени;
- целесообразно продолжить работы по уточнению калькуляции расходов воды на тушение низовых лесных пожаров, а также экспериментальной проверки полученных расчётных значений нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки пожара на опытных и реальных лесных пожарах.

Литература

1. **Пешков В.В.** Словарь терминов по лесной пирологии. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2011. 55 с.
2. **Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А.** Крупные лесные пожары. М.: Наука, 1979. 198 с.
3. **Руководство** по определению параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой. М.: ВНИИПО МЧС России, 2004. 16 с.
4. **Волокитина А.В., Софронов М.А.** Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: изд-во СО РАН, 2002. 314 с.
5. **Софронов М.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М.** Пожары в горных лесах. Красноярск: СО РАН, Институт леса им. В.Н. Сукачева, Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2008. 388 с.
6. **Абдурагимов И.М.** Новый эффективный способ тушения лесных пожаров. <http://пожарное-дело.рф/gubricator>.
7. **Абдурагимов И.М.** Проблемы тушения лесных и торфяных пожаров (тепловая теория тушения пожаров твёрдых горючих материалов на открытых пространствах и в нутрии зданий и сооружений) // Пожаровзрывобезопасность. № 10. 2012. С. 66-76.