

А.Н. Денисов, Н.М. Журавлёв, М.В. Шевцов, В.Б. Захаревский
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: dan_aleks@mail.ru)

ГЛУБИНА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА КАК ОСНОВАНИЕ ДЛЯ РЕСУРСНОГО ОБОСНОВАНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Проведён анализ интенсивности подачи огнетушащих веществ на единицу площади. Выявлены закономерности её распределения. Представлены результаты экспериментальных исследований глубины и ширины полосы тушения водой с использованием пожарных стволов, необходимые для ресурсного обоснования сил и средств пожарных подразделений, принимающих участие в тушении пожара.

Ключевые слова: пожар, интенсивность подачи огнетушащих веществ, управление, глубина тушения, пожарный ствол.

A.N. Denisov, N.M. Zhuravlev, M.V. Shevtsov, V.B. Zaharevsky

DEPTH OF FIRE EXTINGUISHING AS THE BASIS FOR A RESOURCE SUBSTANTIATION OF FORCES AND MEANS OF FIRE DIVISIONS

The analysis of intensity of giving extinguishing substances on area unit is carried out. Laws of its distribution are revealed. Results of experimental researches of depth and width of a strip of suppression by water with use of fire trunks, necessary for a resource substantiation of forces and means of fire divisions, accepting in fire extinguishing.

Key words: a fire, intensity of giving extinguishing substances, management, depth of suppression by a fire trunk, depth of suppression, fire trunk.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 11 мая 2011 г.

Успешное тушение пожара во многом зависит от своевременного введения в действие первого пожарного ствола на решающем направлении. Для его подачи пожарный раньше (до 2005 г.) должен был проникнуть к очагу пожара (подойти как можно ближе к месту горения), направить струю огнетушащего вещества (воды или водных растворов поверхностно-активных веществ) в места наиболее интенсивного горения, на видимые горящие конструкции и предметы, а не по дыму; навстречу распространению огня; сверху вниз при тушении вертикальных поверхностей.

В настоящее время при подаче огнетушащих веществ, прежде всего при локализации пожара, необходимо использовать имеющиеся стационарные установки и системы тушения пожаров. При работе с ручными пожарными стволами необходимо обеспечивать подачу огнетушащего вещества непосредственно в очаг пожара с соблюдением правил охраны труда и техники безопасности.

Подача огнетушащего вещества в очаг пожара, на охлаждаемую поверхность или в защищаемую зону водяными пожарными стволами может осуществляться прямыми и навесными струями.

Необходимое условие локализации пожара заключается в достижении равенства фактического (Q_{ϕ}) и требуемого (Q_{TP}) расходов огнетушащих веществ:

$$Q_{TP} = Q_{\phi}, \text{ л/с.} \quad (1)$$

Однако подаваемые огнетушащие вещества могут не достигать горящих поверхностей (работа по дыму, подача на высоту и т.п.), поэтому для успешной локализации пожара необходимо создать такие условия, при которых подаваемое в достаточном количестве огнетушащее вещество могло бы вводиться непосредственно на горящие поверхности. Это достигается выполнением достаточного условия локализации пожара, которое заключается в достижении равенства фактической (I_{ϕ}) и требуемой (I_{TP}) интенсивности подачи огнетушащего вещества:

$$I_{TP} = I_{\phi}, \text{ л/м}^2 \cdot \text{с.} \quad (2)$$

Выполнение этих условий (1, 2) на пожаре – обязанность ствольщика. Ствольщик может осуществлять тушение горящих поверхностей на определённой площади ($S_{ств}, \text{ м}^2$), величина которой зависит от производительности пожарного ствола и требуемой интенсивности подачи воды на единицу площади [6]:

$$S_{ств} = \frac{q_{ств}}{I_{TP}}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

где $q_{ств}$ – производительность ствола, л/с;

I_{TP} – требуемая интенсивность (I_s – поверхностная) подачи огнетушащих средств, л/м²·с

$$I_{TP} = I_s \cdot h_T; \quad (4)$$

h_T – глубина полосы тушения пожарным стволом, м.

Фронт работы ствольщика ($F_{ств}, \text{ м}$) зависит от производительности пожарного ствола и требуемой интенсивности подачи на погонный метр периметра пожара [6]:

$$F_{ств} = \frac{q_{ств}}{I_{л}}, \quad (5)$$

где $I_{л}$ – интенсивность (линейная) подачи огнетушащих средств на погонный метр периметра пожара, л/м²·с.

При подаче огнетушащих средств при тушении пожаров примерно третья часть длины струи используется эффективно, т.е. прорабатывает площадь пожара, что составляет для ручных стволов 5-7 м, для лафетных 10-15 м (из-за невозможности подойти близко к очагу пожара из-за действия лучистой теплоты, потери огнегасительного вещества при соприкосновении с пламенем и горячей поверхностью и т.д.). В расчёте сил и средств на тушение обычно принимают меньшую величину – 5 и 10 м. Такое обоснование количественной характеристики, как глубина тушения, для водяных пожарных стволов приводилось при чтении лекций в ВИПТШ МВД СССР [10]. В 1913 г. Требезов Н. писал "Пожарная струя обладает достаточной для тушения огня силою приблизительно только на первой трети боя ..." [3].

В настоящее время для решения задач управления силами и средствами пожарных подразделений на пожаре, с целью прогнозирования обстановки

при тушении пожара применяются следующие количественные характеристики шкалирующего коэффициента – глубина тушения: ручные водяные стволы – 5 м; лафетные водяные стволы – 10 м; гидромониторы и "пушки" – 15 м.

Обоснованность данной характеристики влечёт аксиоматический принцип её применения, поэтому проведём исследование глубины орошения горячей поверхности (горизонтальной и вертикальной) водяными пожарными стволами, как функции от основных гидравлических характеристик. Сравним полученные результаты с аксиоматическими принципами определения глубины тушения.

Аналитическое обоснование параметров навесных водяных струй

Водяные струи подразделяются на *сплошные* (получаемые от ручных и лафетных стволов) и *распылённые* (образуемые от специальных насадков-распылителей). Распылённые пожарные струи делятся на струи [8]:

- широкого распыления ($\gamma \geq 27^\circ$);
- нормального распыления ($6^\circ \leq \gamma \leq 27^\circ$);
- узкого распыления ($\gamma \leq 6^\circ$).

Угол распыления γ можно вычислить по формуле (6):

$$\gamma = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{B}{2 \cdot L_{cp}} \right), \quad (6)$$

где B – максимальная ширина орошения с интенсивностью больше минимальной, м;

L_{cp} – средняя длина полёта струи, измеренная от насадка до места, на которое падает половина объёма расхода воды, м.

Сплошные водяные струи отличаются своей компактностью, большой дальностью полета и сильным динамическим действием. Строго говоря, сплошные струи получают при напоре не более 2-3 м. При больших напорах в струе можно выделить две её части: сплошную (компактную) и раздробленную. В компактной части сохраняется однородность потока, струя имеет цилиндрическую или близкую к ней форму, в раздробленной части нарушается однородность потока, струя разрывается на все более мелкие части и расширяется. Понятие компактной части струи является относительным, поскольку резкой грани между нею и раздробленной частью не существует. За длину компактной части сплошной водяной струи принимают ту её часть, которая несёт 75 % всего количества воды в круге диаметром 26 см и – 90 % воды в круге диаметром 38 см [7].

Практически деление струи на компактную и раздробленную части может быть осуществлено на основании визуального наблюдения за струей, измерения плотности струи в различных точках и опыта использования струй.

Разрушение струи происходит под влиянием действующей на нее силы тяжести, сопротивления воздуха и внутренних сил, вызываемых турбулентностью струи и колебательно-волновым характером движения жидкости в ней. На

определенной стадии распада струи дополнительными силами, способствующими распылению струи на капли, будут силы поверхностного натяжения.

Если при одном и том же напоре у spryska постепенно изменять угол наклона ствола, то конец компактной части струи будет описывать траекторию sfj , которая называется *огibaющей кривой компактной струи*, а наиболее удаленные капли струи – траекторию $s^1f^1j^1$, называемую *огibaющей кривой раздробленной струи* (рис. 1). Расстояния по прямой от насадка до граничных кривых соответственно называются *радиусом действия компактной струи* R_k и *радиусом действия раздробленной струи* R_p . Расчет параметров наклонных струй ведут по отношению к величинам вертикальных струй [10].

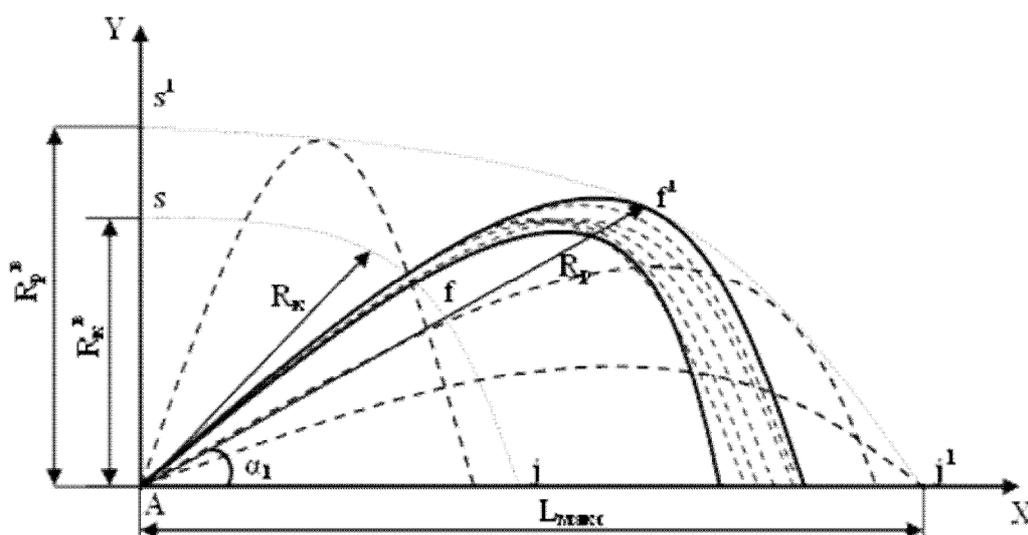


Рис. 1. Траектории струи воды при разных углах наклона пожарного ствола:

- A – место размещения пожарного ствола;
- R_k^6 – высота вертикальной компактной струи воды;
- R_p^6 – высота вертикальной распылённой струи воды;
- R_k – радиус действия компактной струи воды;
- R_p – радиус действия раздробленной струи воды;
- $Asfj$ – область максимального действия компактной струи;
- $As^1f^1j^1$ – область максимального действия раздробленной струи;
- α_1 – угол наклона пожарного ствола

На основании опытных данных получена зависимость высоты вертикальной компактной части струи (R_k^6) от высоты вертикальной раздробленной струи R_p^6 :

$$R_p^B = R_k^B \cdot \left(1,19 + 80 \left(0,01 \cdot R_k^B \right)^4 \right). \quad (7)$$

Для расчёта высоты вертикальных струй при напорах от 7 до 70 метров применяется следующая формула:

$$R_p^B = H - \frac{0,000113 \cdot H^2}{d}, \quad (8)$$

где H – напор у sprыска ствола, м;
 d – диаметр выходного сечения sprыска, м.

Высоту вертикальной сплошной струи можно определить по формуле, предложенной Люгером:

$$R_p^B = \frac{H}{1 + \varphi \cdot H}, \quad (9)$$

где φ – коэффициент, который вычисляется по формуле или выбирается из табл. 1:

$$\varphi = \frac{0,25}{d + (0,1 \cdot d)^3}; \quad (10)$$

d – диаметр выходного сечения sprыска, мм.

Таблица 1

Отношение диаметра выходного сечения sprыска ствола от коэффициента φ к диаметру sprыска пожарного ствола

D	10	13	16	19	22	25	28	32	38
φ	0,0228	0,0165	0,0124	0,0097	0,0077	0,0061	0,0050	0,0039	0,0028

По мнению Тарасова-Агалакова, зависимость (8) нельзя применять для лафетных стволов. Высота компактной струи (R_k) может быть определена по эмпирической формуле [7]:

$$R_k = \frac{K \cdot (H - 10)}{(H + 10)} + 0,08 \cdot H + 5,7, \quad (11)$$

где H – напор на стволе, м,
 K – коэффициент сопротивления струи трению в воздухе ($K = 22,8$ для $d = 25$ мм).

Расстояние от насадка до огибающей кривой раздробленной струи R_p возрастает с уменьшением угла наклона радиуса действия к горизонту α . Величину радиуса действия раздробленной струи определяют по формуле [9]:

$$R_p = \beta \cdot R_p^B, \quad (12)$$

где β – коэффициент, зависящий от угла наклона лафетного ствола α (табл. 2).

Таблица 1.1

Зависимость коэффициента β от угла наклона радиуса действия лафетного ствола

α, град	15	20	30	45	50	55	60
β	1,18	1,10	1,0	0,90	0,88	0,86	0,85

После преобразования формулы (1.7) получим:

$$R_p = \beta \cdot \frac{H}{1 + \varphi \cdot H}, \text{ м.} \quad (13)$$

По формуле (13) можно аналитически определять дальность раздробленной струи (R_p) при определённом угле наклона относительно горизонта α . Зависимость расхода воды и радиуса действия раздробленной струи из лафетных стволов приведена в табл. 3-6.

Таблица 3

Зависимость радиуса действия раздробленной части струи и расхода воды от напора на спрыске лафетного ствола при $\alpha = 30^\circ$

Напор ствола, м	Радиус действия раздробленной струи R_p и расход $q_{ств}$ при диаметрах спрысков, мм					
	25		28		32	
	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$
30	25,4	11,88	26,1	14,9	26,9	19,5
35	28,9	12,84	29,8	16,1	30,8	21,06
40	32,2	13,72	33,4	17,2	34,6	22,51
45	35,3	14,55	36,8	18,25	38,3	23,88
50	38,4	15,35	40	19,23	41,9	25,17
55	40,0	16,1	41,4	20,17	49,0	26,4
60	44,0	16,8	46,2	21,07	48,7	27,57
65	45,2	17,5	47,6	21,93	51,9	28,7
70	47,6	18,15	51,9	22,75	55,0	29,78

Таблица 4

Зависимость радиуса действия раздробленной части струи и расхода воды от напора на спрыске лафетного ствола при $\alpha = 35^\circ$

Напор ствола, м	Радиус действия раздробленной струи R_p и расход $q_{ств}$ при диаметрах спрысков, мм					
	25		28		32	
	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$
30	24,6	11,88	25,4	14,9	26,1	19,5
35	28,0	12,84	29,0	16,1	29,9	21,06
40	31,2	13,72	32,4	17,2	33,6	22,51
45	34,3	14,55	35,7	18,25	37,2	23,88
50	37,1	15,35	38,8	19,23	40,6	25,17
55	40,0	16,1	41,9	20,17	44,0	26,4
60	42,6	16,8	44,8	21,07	47,2	27,57
65	45,2	17,5	47,6	21,93	50,3	28,7
70	47,6	18,15	50,3	22,75	53,3	29,78

**Зависимость радиуса действия раздробленной части струи
и расхода воды от напора на спрыске лафетного ствола при $\alpha = 40^\circ$**

Напор ствола, м	Радиус действия раздробленной струи R_p и расход $q_{ств}$ при диаметрах спрысков, мм					
	25		28		32	
	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$
30	23,9	11,88	24,5	14,9	25,3	19,5
35	27,2	12,84	28,0	16,1	29,0	21,06
40	30,3	13,72	31,4	17,2	32,6	22,51
45	33,2	14,55	34,6	18,25	36,0	23,88
50	36,1	15,35	37,1	19,23	39,4	25,17
55	38,7	16,1	40,6	20,17	42,6	26,4
60	41,3	16,8	43,4	21,07	45,7	27,57
65	43,8	17,5	46,2	21,93	48,8	28,7
70	46,2	18,15	48,8	22,75	51,7	29,78

Таблица 6

**Зависимость радиуса действия раздробленной части струи
и расхода воды от напора на спрыске лафетного ствола при $\alpha = 45^\circ$**

Напор ствола, м	Радиус действия раздробленной струи R_p и расход $q_{ств}$ при диаметрах спрысков, мм					
	25		28		32	
	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$	R_p	$q_{ств}$
30	23,0	11,88	23,5	14,9	24,2	19,5
35	26,0	12,84	26,8	16,1	27,8	21,06
40	28,0	13,72	30,0	17,2	31,2	22,51
45	31,8	14,55	33,1	18,25	34,5	23,88
50	34,5	15,35	36,0	19,23	37,7	25,17
55	37,1	16,1	38,9	20,17	40,8	26,4
60	39,6	16,8	41,6	21,07	43,8	27,57
65	41,9	17,5	44,2	21,93	46,7	28,7
70	44,2	18,15	46,7	22,75	49,5	29,78

Анализ таблиц 4-6 и гипотезы о том, что при тушении пожаров примерно третья часть длины струи используется эффективно, показывает: радиус действия раздробленной струи в зависимости от угла наклона пожарного лафетного ствола меняется от 23,0 до 55,0 м, поэтому глубина тушения будет составлять 7,6-18,3 м, по гипотезе: 10-15 м.

Проведя расчёт радиуса действия раздробленной струи в зависимости от угла наклона пожарного ручного ствола, установили, что он меняется от 18 до 41 м, поэтому глубина тушения будет составлять 6-13,6 м, по гипотезе: 5-7 м.

Нормативные документы рекомендуют использовать ручные пожарные стволы при рабочем давлении 0,4-0,6 МПа, а лафетные – 0,6 МПа.

Проведён анализ рассчитанных параметров с учётом этих исходных данных:

- радиус действия раздробленной струи пожарного лафетного ствола 39,6-48,7 м;
- глубина тушения пожарным лафетным стволом 13,2-16,2 м;
- радиус действия раздробленной струи ручного пожарного ствола 26,1-41 м;
- глубина тушения ручным пожарным стволом 8,7-13,6 м.

Таким образом, согласно гипотезе, для расчёта сил и средств для тушения пожара необходимо принимать меньшую величину глубины тушения – 8 метров для ручных пожарных стволов и 13 метров для пожарных лафетных стволов.

Нормативно-экспериментальное обоснование параметров навесных водяных струй

Анализ ряда работ, нормативных документов и собственные исследования позволили авторам получить следующие данные параметров водяных струй [1, 2, 4, 5, 9, 11-14]:

- радиус действия сплошной струи пожарного лафетного ствола 50-65 м (при рабочем давлении – 0,6 МПа);
- глубина тушения пожарным лафетным стволом 16,6-21,5 м;
- радиус действия сплошной струи ручного пожарного ствола 30-32 м (при рабочем давлении – 0,4-0,6 МПа);
- глубина тушения ручным пожарным стволом 10-10,6 м;
- радиус действия распылённой (раздробленной) струи ручного пожарного ствола 7,3-26,8 м;
- глубина тушения сплошными струями ручным пожарным стволом 8,7-13,6 м;
- глубина тушения распылёнными струями ручным пожарным стволом 2,4-8,9 м.

Согласно гипотезе, для расчёта сил и средств на тушение сплошными струями необходимо принимать меньшую величину глубины тушения – 10 м для ручных пожарных стволов, 16 м для пожарных лафетных стволов и 2 м при тушении распылёнными струями ручным пожарным стволом.

Аксиоматический принцип – глубина тушения ручным пожарным стволом составляет 5 м и 10 м для тушения пожарным лафетным стволом, подтвердился при тушении пожаров прямыми струями.

Приведённые значения глубины тушения в зависимости от интенсивности подачи огнетушащих веществ могут применяться в учебном процессе, при проектировании новых средств подачи огнетушащих веществ в зону горения, определении расходов огнетушащих, разработке планов и карточек тушения пожаров, совершенствовании организации тушения пожаров, оценке уровня готовности подразделений и профессиональной подготовки личного состава пожарной охраны, а также правильности принятия управленческих решений при изучении пожаров.

Литература

1. *Исследование* работы струеобразующего устройства / Брушлинский Н.Н., Шимко В.Ю., Карпов В.Л., Усманов М.Х., Семёнов В.П., Джураев С.М. // Научно-технический журнал "Пожаровзрывобезопасность", № 11 (том 19), 2010. С. 40-43.
2. *Артемов Н.С., Подгрушный А.В.* Глубина тушения пожара водяными струями // Матер. 11-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности" – СБ-2002. М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. С. 228-231.
3. *Требезов Н.П.* Пожарная тактика. С.-Пб., 1913. 336 с.
4. *НПБ 177-99.* Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования. Методы испытания.
5. *НПБ 159-97.* Техника пожарная. Стволы пожарные лафетные комбинированные. Общие технические требования. Методы испытаний.
6. *Панарин В.М., Евтюшкин Н.М.* Основы теории процесса тушения пожаров // Методические указания к изучению курса "Пожарная тактика". М.: УКиУЗ МООП РСФСР, 1964. 77 с.
7. *Иванов Е.Н.* Противопожарное водоснабжение. М.: Стройиздат, 1986. 316 с.
8. *Дерецки Тадеуш.* Исследование влияния основных геометрических параметров стволов на характеристики водопенных струй. Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. 20 с.
9. *Противопожарное* водоснабжение / Абросимов Ю.Г, Жучков В.В., Пименов А.А., Карасев Ю.Л., Фоменко В.Д. М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. 311 с
10. *Спышинов П.А.* Фонтаны. Описание, конструкции, расчёт. М.: ГИАиГ, 1950. 174 с.
11. *Баратов А.Н., Иванов Е.Н.* Пожаротушение на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Изд-во "Химия", 1971. 416 с.
12. *Кудряшов А.В.* Определение противопожарных расходов воды // Инф. сб. "Пожарная профилактика". М.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1961. С.132-184.
13. *Добрецов С.В.* Исследование некоторых параметров тушения пожара: Дипл. раб. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1990. 81 с.
14. *Определение* площади тушения пожара ручными водяными пожарными стволами при выработке управленческих решений / Хьюнг Н.М., Шевцов М.В., Журавлёв Н.М., Намычкин А.Ю., Тараканов Д.В. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. № 2. С. 59-61.