

Научная статья
УДК 53.06
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.62.41.011

Научно-практические основы увеличения дальности струи пожарного ствола

Сергей Петрович Амелчугов^{1,2}
*Алексей Николаевич Батуро*²
*Виталий Андреевич Негин*³
Александр Викторович Антонов^{2,4}
*Александр Иванович Фурсов*⁵

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

³Автоматические системы пожаротушения, Красноярск, Россия

⁴Главное управление МЧС России по Красноярскому краю, Красноярск, Россия

⁵Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Красноярск, Россия

Автор ответственный за переписку: Сергей Петрович Амелчугов, asp-911@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена практическому решению увеличения дальности подачи струи при пожаротушении за счет изменения формы насадок. Дальность полета струи является важным параметром для пожаротушения. Струя воды формируется пожарным стволом, при этом важным показателем является воздействие струи воды на очаг горения. Струи воды применяются не только для пожаротушения, но и для охлаждения конструкций зданий и сооружений. Поэтому для целей пожаротушения необходима подача воды на значительные расстояния.

Ключевые слова: струя воды, дальность подачи струи, расход струи, уравнение Рейнольдса

Для цитирования: Амелчугов С.П., Батуро А.Н., Негин В.А., Антонов А.В., Фурсов А.И. Научно-практические основы увеличения дальности струи пожарного ствола // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 90-95.

Original article

Scientific and practical bases of increasing the range of the fire barrel jet

*Sergey P. Amelchugov*¹
*Alexey N. Batur*²
*Vitaly A. Negin*³
*Alexander V. Antonov*⁴
*Alexander I. Fursov*⁵

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

²Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

³Automatic fire extinguishing systems, Krasnoyarsk, Russia

⁴*The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Krasnoyarsk Territory, Russia*

⁵*Academy State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia*

Corresponding author: *Sergey P. Amelchugov, asp-911@yandex.ru*

Abstract. The article is devoted to the practical solution of increasing the range of the jet supply during firefighting by changing the shape of the nozzles. The range of the jet is an important parameter for fire fighting. A jet of water is formed by a fire nozzle, while an important indicator is the impact of a jet of water on the combustion source. Water jets are used not only for fire extinguishing, but also for cooling the structures of buildings and structures. Therefore, for firefighting purposes, water supply over considerable distances is necessary.

Keywords: water jet, jet delivery range, jet flow rate, Reynolds equation

For citation: Amelchugov S.P., Baturо A.N., Negin V.A., Antonov A.V., Fursov A.I. Scientific and practical bases of increasing the range of the fire barrel Jet // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2022. № 2 (25). С. 90-95.

В практике пожаротушения подача воды проходит на безопасном расстоянии с точки зрения воздействия теплового излучения пламени пожара на пожарного. Интенсивность теплового излучения зависит от характеристик горения. При горении нефтепродуктов, отходов лесопиления на большой площади, верховых пожаров леса критические воздействия теплоты на человека возникают на значительных расстояниях. Известно, что лобовые стекла пожарных автомобилей лопаются на расстоянии 300 метров от пожара на открытом складе пиломатериалов. Поэтому дальность полета струи является важным параметром для пожаротушения.

Струя воды формируется пожарным стволом, при этом важным является воздействие струи воды на очаг горения. При кинетическом воздействии струя разбрызгивается и количество воды, попадающее в зону горения незначительно, при применении распыленной струи эффективность пожаротушения увеличивается. Поэтому для пожаротушения важны такие характеристики, как дальность подачи и сплошность струи.

К примеру, система формирования струи «JET FOG» полезна для типовых пожаров, но при ландшафтных пожарах или при пожарах на открытой местности в ветряную погоду и другую, где требуется высокое удельное орошение, она малоэффективна. Струи воды применяются не только для пожаротушения, но и для охлаждения конструкций зданий и сооружений. Поэтому для целей пожаротушения необходима подача воды на значительные расстояния.

Для изучения полета струи следует рассмотреть воздействие воздуха на свободнолетающий поток жидкости. Воздух не следует рассматривать как неподвижную среду. Ветровые воздействия на струю пожарного ствола тем значительнее, чем больше диаметр струи пожарного ствола. Известно, что при тушении открытых пожаров компактность струи пожарного ствола имеет решающее значение, фактически, чем компактнее струя воды из пожарного ствола, тем эффективнее пожаротушение. При выходе из ствола на струю воздействуют силы притяжения и воздушная среда, а также внутренние силы, обусловленные векторами линий тока по сплошности потока, т.е. определенное количество движения (импульс) передаётся от слоёв жидкости движущихся с большей скоростью, к слоям жидкости, движущимся с меньшей скоростью, что приводит к разрушению сплошности. Дальность подачи, расход водяной струи, и ее форма обеспечиваются насадкой пожарного ствола.

Формирование струи происходит в пожарном стволе. Струя воды воспринимает не только внешние нагрузки, но и внутренние, обусловленные неравномерным скоростным потоком в распылении пожарного ствола по сплошности потока, таким образом, компактная струя воды, сформированная распылением пожарного ствола, имеет разницу внутренних скоростных потоков и внешних потоков, связанных с преодолением сопротивления воздуха. Поэтому усреднение скоростных потоков по сплошности потока воды является основной задачей пожарного ствола.

В связи с этим, следует решить комплексную задачу уравнения потоком воды по сплошности и её турбулентности.

Понимается, что ламинарное течение воды характеризуется критическим значением. Физический смысл уравнения Рейнольдса сводится к характеристикам молекулярного взаимодействия жидкости. При формировании струи в насадке пожарного ствола происходит её сжатие и увеличение скоростного давления, которое приводит к изменению критического значения Рейнольдса. Например, известно, что при движении потоков воды у подводной части крыльев судов, критическое значение Рейнольдса достигает 10000. Однако изменение числа Рейнольдса при изменении кинетического давления малоисследовано. Поэтому необходимо рассмотреть изменение потока воды при сжатии в насадке пожарного ствола.

Понимается, что уравнение Рейнольдса характеризуется уравнением:

$$Re = V * d / \nu \quad (1)$$

где V – характерная скорость, м/с;

d – внутренний диаметр трубы, м;

ν – кинематическая вязкость м²/с.

Критическое значение Рейнольдса для воды для подводящей цилиндрической трубы равно 2200. Кинематическая вязкость пресной воды при $t=20^{\circ}\text{C}$ составляет около 10^6 м²/с. Предполагается, что в насадке пожарного ствола с равномерным изменением числа Рейнольдса, оно меняется с 2200 на входе до десятка тысяч на выходе, что возможно для вязкопластичной жидкости.

Нелинейное поведение воды при сжатии потока в насадке, возможно, объяснить моделью степенного закона, которое записывается как:

$$\tau = K \gamma^n \quad (2)$$

где τ – касательное (внутреннее) напряжение или напряжение сдвига;

K – коэффициент консистенции;

n – показатель степенной зависимости. Значение показателя n указывает на степень неньютоновского поведения жидкости в данном диапазоне скоростей сдвига.

В конусе насадки вода «разжижается» при сдвиге и переходит в псевдопластическую жидкость. Так как, большинство неньютоновских жидкостей разжижаются при сдвиге, их эффективная вязкость снижается при увеличении скорости сдвига, например, по мере увеличения скоростного напора в конусе насадки, то получение псевдоламинарного потока воды на срезе спрыска вполне объяснимо.

Известно, что характерная скорость определяется из следующего выражения:

$$V = Q / \omega \quad (3)$$

где ω - площадь «живого» сечения, расположенного по нормали к потоку.

Тогда, уравнение Рейнольдса для воды, применяемой для целей пожаротушения, будет иметь вид:

$$Re = d^3 * Q \quad (4)$$

Из этого следует, что характеристика турбулентности потока определяется кубической зависимостью от диаметра.

Известно, что в практике производства пожарных стволов применяются конические и эвольвентные насадки с двумерным изменением формы насадки. Однако из анализа уравнения 4 следует, что необходимо трехмерное изменение формы насадка. Реализация данного решения возможна введением в водяной поток дополнительного тела. (Рис.1)

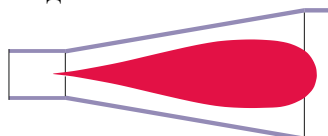


Рис. 1 Схема водяного насадка с трёхмерным изменением формы

Учитывая отсутствие теоретической базы для проектирования насадок с трёхмерным изменением формы, проведены экспериментальные исследования по определению оптимальных: угла, длины конической части насадок для различных расходов и геометрии внутреннего тела. В ходе экспериментов предполагалось достичь две цели: обеспечить квазиламинарное движение потока по всей плоскости насадки и усреднить поток по перечному сечению spryska.

Поэтому для определения оптимальных характеристик насадок новой конструкции в ходе экспериментов поставлены три задачи:

- установления оптимальных углов и длины конической части насадки для различных расходов;
- определение оптимальной геометрии внутреннего тела;
- определение характеристик spryska.

Установлено, что для насадки с входящим диаметром 66 мм и выходным отверстием диаметром 13 мм оптимальная длина конической части составляет 120 мм. Экспериментально установлено, что при скорости струи до 40 м/с струя истекает прозрачной, а не белой, как для традиционных пожарных стволов. (Рис.2) По достижению критических скоростей на срезе spryska свыше 40 м/с в потоке возникают турбулентные течения, и компактная струя распадается.



Рис. 2 Вид истекающей жидкости из насадки

Например, при скорости потока воды на выходе из spryska насадки 40 м/с, которая обеспечивается напором на насосе пожарного автомобиля около 8 МПа с расходом 6,5 л/с длина струи составляет 53 метра. Это более чем в 1,5 раз превышает длину струй от всех известных пожарных стволов, что важно для практических задач пожаротушения.

Небольшое вихреобразование и отрыв потока от стенки с одновременным сжатием потока возникает лишь на выходе из конфузора в месте соединения конической трубы с цилиндрическим sprysком. Для создания лучших условий формирования сплошной струи внутреннюю часть поверхности входа конуса в цилиндр следует профилировать, а цилиндрический sprysк должен иметь длину равную 2 диаметрам выходного отверстия. Внутренний диаметр sprysка должен быть на 1,5-2,4 мм больше выходного отверстия насадки. Наружная часть насадки заканчивается реданом, с углом 60 градусов. (Рис 3) Таким образом, струя, выходящая из насадки, формируется внутри sprysка, при этом за счет эжекции воздуха на внутренней поверхности sprysка образуется 2-х фазный поток, благоприятно сказывающийся на трении о стенки sprysка. Также sprysк обеспечивает защиту внутреннего тела от механических воздействий.

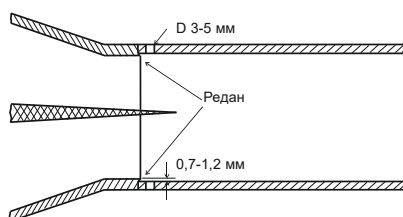


Рис. 3 Схема sprysка

Увеличение дальности полета струи за счет качественного сжатия потока воды в насадке экспериментально отработано в диапазоне расходных характеристик, от 1 до 20 л/с и теоретически исследовано - от 1 до 60 л/с.

Наиболее важные практические результаты исследований получены при использовании в стационарно устанавливаемых роботизированных пожарных стволах. Увеличенная дальность подачи огнетушащего вещества сокращает количество пожарных роботов, применяемых для защиты объектов, в 2-3 раза по сравнению с известными типами лафетных стволов, входящих в пожарные роботы. Меньшая подверженность влиянию ветра узких компактных струй делает роботизированные пожарные стволы незаменимыми для защиты открытых объектов, например, резервуарные парки, сливноналивные эстакады, склады леса, пиломатериалов и т.д.

Таким образом, задача, состоящая в увеличении дальности подачи компактной струи за счет увеличения скорости ламинарного течения и усреднения скоростей по поперечному сечению струи на выходе из насадки решена.

Список источников

1. Анализ условий подвода огнетушащего вещества к насадке лафетного ствола / В.И. Степанов, В.А. Варганов// Пожарная техника, средства и способы пожаротушения.1992. С. 31,35.
2. Лафетный ствол / И.Ф. Циганко, В.И. Кильян// а.с. SU 1227205. 1980.
3. Противопожарное водоснабжение/ Е.Н. Иванов// 1986. С. 316
4. Пожарная техника/ Н.М. Дзикас, Н.Д. Щебеко, А.С. Кисель, Н.Д. Введенский, Г.И. Астахов// 1974.
5. Лафетные стволы/ А.А. Родэ// 1959. С. 84
6. Гидравлика в пожарном деле/ В.Ф. Ходаков// 1965. С. 204
7. Лафетный пожарный ствол/ J.B. Thomas// GB2277467. 1993.
8. Импульсная установка/ Г.А. Чеботарев Г.А// а.с. 1695950. 1992.
9. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтехимической промышленности/А.Н. Баранов, Е.Н. Иванов// 1970. С. 368
10. Комбинированный распылитель/Г.А. Румянцев, С.Д. Атрощенко, А.Г. Володин// а.с. 1304826. 1957.
11. Пожарный ствол для подачи сплошной или распыленной струи жидкости/ В.В. Литовченко, О.С. Яциив// а.с. 764691. 1978.
12. Лафетный ствол/ В.В. Хорлунов, Н.И. Аблопохин// а.с. 1253636. 1983.
13. Пожарный лафетный ствол/Ю.И. Пономарев // а.с. 1251923. 1983.
14. Пожарный ствол/П.В. Крысов, В.А. Молчанов, А.А. Ткаченко, Е.В. Толозова// а.с. 671818. 1977.
15. Устройство для подачи огнегасительного вещества/ Х.Х. Хосанов, С.В. Петухов// а. с. 1542551. 1988.
16. Насадки для подачи жидкости/Ю.М. Ермаков// а.с. 629936
17. Насадка к устройству для подачи подвижной среды/Ю.М. Ермаков// Изобретатель. №12, J9S8.
18. Насадка к устройству для подачи подвижной среды/ Ю.М. Ермаков// 629936 SU. 1978.
19. Насадка для пожарного ствола/ Г.А. Баранов, В.В. Хухарян В.В// SIJ 1042224. 1979.
20. Насадка для подачи огнегасительной жидкости/ В.Я. Вылегжания// 1269790. 1985.
21. Патент № 62829 от 10 мая 2007г. Насадок для пожарного ствола/ С.П. Амельчугов, В.П., Тихонов, А.Н. Батуро, А.В. Антонов.

List of sources

1. Analysis of the conditions for supplying a fire extinguishing agent to the nozzle of a fire monitor / V.I. Stepanov, V.A. Varganov // Fire equipment, means and methods of fire extinguishing. 1992. S. 31.35.
2. Fire monitor / I.F. Tsiganko, V.I. Kilyan// A.S. SU 1227205. 1980.
3. Fire water supply / E.N. Ivanov// 1986. S. 316

4. Fire equipment / N.M. Dzikas, N.D. Shchebeko, A.S. Kisel, N.D. Vvedensky, G.I. Astakhov // 1974.
5. Fire monitors / A.A. Rode // 1959. S. 84
6. Hydraulics in fire fighting / V.F. Khodakov // 1965. S. 204
7. Fire monitor / J.B. Thomas // GB2277467. 1993.
8. Impulse installation / G.A. Chebotarev G.A.// A.S. 1695950. 1992.
9. Fire extinguishing at the enterprises of the chemical and petrochemical industry / A.N. Baranov, E.N. Ivanov// 1970. S. 368
10. Combined atomizer / G.A. Rummyantsev, S.D. Atroshchenko, A.G. Volodin// A.S. 1304826. 1957.
11. Fire barrel for supplying a continuous or sprayed jet of liquid / V.V. Litovchenko, O.S. Yatsiv// A.S. 764691. 1978.
12. Fire monitor / V.V. Khorlunov, N.I. Ablopokhin// A.S. 1253636. 1983.
13. Fire monitor / Yu.I. Ponomarev // A.S. 1251923. 1983.
14. Fire barrel / P.V. Krysov, V.A. Molchanov, A.A. Tkachenko, E.V. Tolozova// A.S. 671818. 1977.
15. Device for supplying extinguishing agent / Kh.Kh. Khosanov, S.V. Petukhov // a. With. 1542551. 1988.
16. Nozzles for liquid supply / Yu.M. Ermakov// A.S. 629936
17. Nozzle for a device for supplying a moving medium / Yu.M. Ermakov // Inventor. No. 12, J9S8.
18. Nozzle for a device for supplying a moving medium / Yu.M. Ermakov// 629936 SU. 1978.
19. Nozzle for a fire barrel / G.A. Baranov, V.V. Khukharyan B.B// SIJ 1042224. 1979.
20. Nozzle for supplying fire extinguishing liquid / V.Ya. Vylegzhanyan // 1269790. 1985.
21. Patent No. 62829 dated May 10, 2007 Nozzle for a fire barrel / S.P. Amelchugov, V.P. Tikhonov, A.N. Baturо, A.V. Antonov.

Информация об авторах

С.П. Амельчугов – доктор технических наук
А.Н. Батуро – кандидат технических наук, доцент
А.В. Антонов – кандидат технических наук
А.И. Фурсов – кандидат экономических наук

Information about the authors

S.P. Amelchugov – Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences
A.N. Baturо – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent
A.V. Antonov – Ph.D. of Engineering Sciences
A.I. Fursov - Ph.D. of Economic Sciences

Статья поступила в редакцию 21.05.2022; одобрена после рецензирования 29.06.2022; принята к публикации 30.06.2022

The article was submitted 21.05.2022, approved after reviewing 29.06.2022, accepted for publication 30.06.2022.