

СТРУЙНОЕ МЕТАНИЕ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ ИЗ СТВОЛОВ

В. Д. Захматов, В. Л. Цикановский, А. С. Кожемякин

Инженерно-технологический институт, 257006 Черкассы, Украина

Исследованы изменения во времени текущих значений скорости и дальности распространения фронта газопорошковой струи в зависимости от соотношения масс порохового заряда и метаемого огнетушащего состава. Установлены три механизма распространения импульсной газопорошковой струи. Найден оптимальный диапазон массовых соотношений, позволяющих достичь максимальных значений дальности газопорошковой струи для различных калибров и длин стволов.

В настоящее время на практике применяется ряд конструкций многоствольных пожарных установок, например 50-ствольная установка «ИМПУЛЬС-3» на шасси танка. Более 15 таких установок успешно эксплуатируются на территории России и Украины. По мощности и огнетушащей эффективности воздействия они значительно превосходят наиболее совершенные образцы традиционных пневматических и гидравлических пожарных машин. Однако тушение больших пожаров, например лесных и промышленных, требует дальнейшего повышения характеристик струйного метания огнетушащих порошков.

Для теоретического описания импульсной газопорошковой струи, образующейся при выбросе порошка из ствола, наиболее приемлемы методы механики многофазных сред [1, 2]. Однако значительные сложности математического моделирования нестационарного двухфазного потока, в частности отсутствие точных данных по взаимодействию фаз потока между собой и с окружающей средой, не дают возможности создать корректную модель рассматриваемого процесса. В [3] приведены результаты исследований метания порошка из относительно коротких (длиной $L/D \leq 10$) труб калибром $D = 100, 130$ и 200 мм. В данной работе для метания порошка использовали штатные артиллерийские стволы калибром $D = 76, 100, 122, 152, 203$ мм длиной $L/D = 10 \div 35$.

Стандартные гильзы для пороховых зарядов снаряжались огнетушащим порошком марки «Пирант-А» с размерами частиц $20 \div 50$ мкм (см. таблицу). Метательные заряды изготавливали из дымного пороха марки ДРП-1. Воспламенялись заряды с помощью стандартных капсюлей-воспламенителей, которые ис-

пользуются в артиллерийских гильзах. Заряд размещался на дне гильзы, изолировался пыжом из слоя картона и поролон толщиной 20 мм. Сверху засыпался огнетушащий порошок, и гильзу закрывали пыжом. Зарядка артиллерийского орудия осуществлялась по обычной схеме холостого выстрела. Артиллерийское орудие располагалось на ровной бетонированной площадке.

Текущие параметры газопорошковой струи определяли по материалам киносъемки. Камеру располагали перпендикулярно траектории движения струи на одной высоте со стволом — 1,5 м над бетонным покрытием. Для определения расстояний использованы масштабные реперы высотой 2 м, установленные на расстоянии 5 м друг от друга. На каждом стволе проведено пять опытов.

Графические зависимости, представленные на рис. 1, а, начинаются с времени 62,5 мс после выстрела, поскольку именно с этого момента по материалам киносъемки можно с необходимой точностью определить скорость потока. Анализировать характер изменения скорости потока в период времени $t < 62,5$ мс не представляется возможным, так как большую часть этого временного промежутка поток движется в стволе орудия длиной 3,5 м.

На рис. 1, а, б показаны изменения во времени текущих значений скорости и дальности распространения фронта газопорошковой струи в зависимости от величины массового соотношения $\mu = m/M$, где M — масса метаемого огнетушащего состава, а m — порохового заряда. Данная серия экспериментов проводилась на стволах калибром 100 мм.

Анализ представленных данных в рамках теории механики многофазных сред [2, 3] позво-

Калибр ствола, мм	76	100	122	122	152	152	203
Длина ствола (в калибрах)	25	35	10	30	20	30	15
Масса огнетушащего порошка, кг	3	10	15	15	20	20	20
Максимальная дальность распространения газопорошковой струи, м	13	30	18	29	34	40	33
Максимальный диаметр струи, м	0,5	0,8	1,2	1	1,5	1,1	1,5

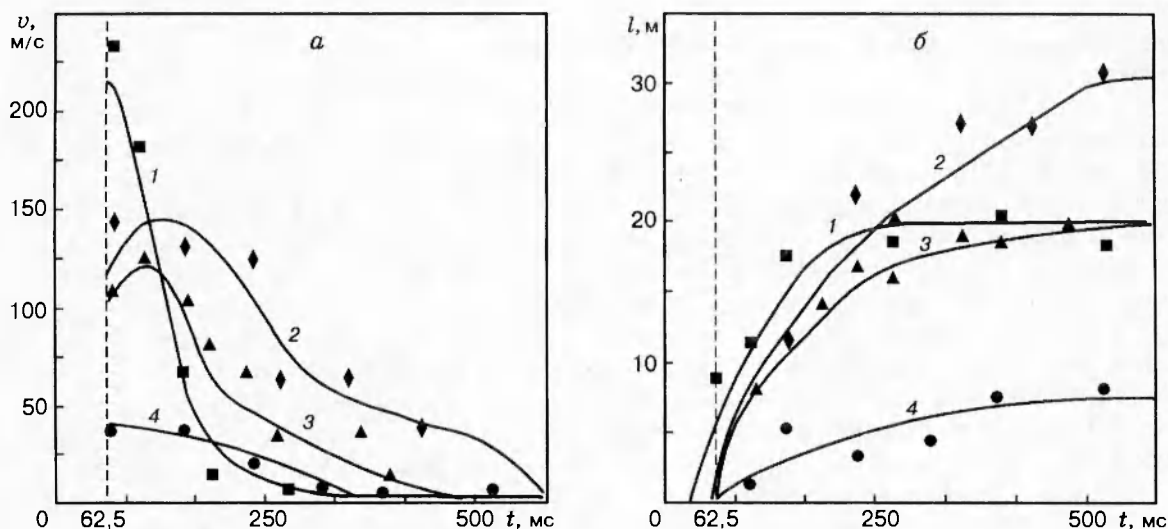


Рис. 1. Изменения во времени текущего значения скорости (а) и дальности (б) распространения фронта газопорошковой струи при $\mu = 0,091$ (1); $0,040$ (2); $0,033$ (3); $0,021$ (4)

ляет объяснить полученные зависимости следующим образом. При $\mu = 0,021$ процесс формирования газопорошковой струи (смешение фаз и энергообмен — проникновение газовой фазы пороховых газов в дисперсную (огнетушащий порошок) и ускорение дисперсной фазы газовой) завершается в стволе, так как сразу за срезом ствола скорость газопорошковой струи начинает уменьшаться. Равномерная структура газопорошковой струи и ее сравнительно низкая начальная скорость обуславливают малую дальность распространения струи.

Повышение величины μ до $0,033$ позволяет изменить процесс распространения газопорошковой струи. За срезом ствола в течение $0,03$ с скорость фронта струи продолжает незначительно увеличиваться, затем в течение $0,4$ с наблюдаются падение скорости струи и ее окончательное торможение и разрушение. При этом за летящим фронтом, движение которого останавливается не далее чем за 20 м от среза ствола, остается спутная струя с гораздо меньшей скоростью, уменьшающейся по мере

удаления от фронта. Анализ киноматериалов позволяет предположить, что фронт струи состоит из порошковой массы, образованной путем прессования порошка взрывной волной в стволе. За срезом ствола спутная газопорошковая струя, содержащая скоростную газовую фазу, ускоряет уплотненный порошковый фронт до момента выравнивания скоростей фронта и спутной струи. При полете фронт струи интенсивно разрушается по механизму аэродинамической «обдирки» поверхностных слоев фронта струи. Этот процесс подобен механизму разрушения падающей капли в поднимающемся встречном потоке воздуха [2]. На конечном этапе полета струи происходят полное разрушение фронта струи, увеличение его диаметра в $1,5$ – 2 раза и резкое торможение. Этот эффект можно объяснить потерей аэродинамической устойчивости фронта струи и проникновением струй воздуха внутрь порошкового фронта, что вызывает его быстрое разрушение, распыление и торможение.

При $\mu = 0,04$ увеличение скорости фронта

конгломерата спрессованного порошка происходит в течение 0,1 с, отрезка времени гораздо более значительного, чем в предыдущем случае. Время существования и дальность полета конгломерата также в 1,5 раза больше, чем в предыдущем случае. Это можно объяснить более плотной и аэродинамически устойчивой структурой порошкового конгломерата. Интенсивность аэродинамического разрушения конгломерата, падение скорости и поперечные размеры потока значительно меньше, чем в предыдущем случае.

При $\mu = 0,091$ характер процесса распространения потока резко изменяется. Сразу за срезом ствола начинается резкое падение скорости и интенсивное аэродинамическое разрушение газопорошковой струи. Из ствола вылетает не струя со сплошным фронтом, а несколько мелких порошковых конгломератов, а за ними — газопорошковая струя без уплотненного фронта. Мелкие конгломераты быстро разрушаются, оставляя по траектории своего полета узкую быстро разрушающуюся газопорошковую струю.

Плотная струя, вылетающая из ствола вслед за конгломератами, быстро тормозится, разрушается и увеличивается в диаметре. На рис. 1, а отражено изменение скорости фронта этой струи. Можно предположить, что сильная взрывная волна еще в стволе частично прорывается сквозь порошковую массу. На остриях струй пороховых газов, прорывающихся сквозь порошковую массу, образуются вышеупомянутые мелкие конгломераты.

Таким образом, по характеру процессов распространения этих струй можно предположить наличие по меньшей мере трех механизмов распространения импульсной газопорошковой струи.

Первый механизм — это относительно низкоскоростная струя, как бы «выливающаяся» из ствола. Эта струя характеризуется отсутствием фронта, уплотненного взрывной волной в стволе порошкового конгломерата. Поэтому на выходе из ствола струя сразу интенсивно разрушается и тормозится под действием аэродинамического сопротивления. Струя такого вида распространяется параллельно площади горения, накрывает значительную площадь и осаждаёт на ней равномерный слой порошка, не возмущая (не турбулизируя) при этом поверхность горящего материала. Такое воздействие в наибольшей степени эффективно для тушения разливов горящих

жидкостей.

Второй механизм отличается наличием оптимальной интенсивности взрывной волны, которая обеспечивает прессование в канале ствола порошка в конгломерат, устойчивый к аэродинамическому воздействию. Этот эффект дает следующие преимущества:

- защита струи от аэродинамического разрушительного и тормозящего воздействия, что стабилизирует процесс торможения и разрушения струи;

- увеличение дальности и площади огнетушащего или другого защитного воздействия в соответствии с [4], где показано, что функциональное воздействие порошкового потока обеспечивается преимущественно фронтом потока. Главной косвенной характеристикой действия фронта является характер напыления порошка по площади воздействия.

Такие газопорошковые струи дальнего действия обладают универсальным огнетушащим действием — могут создавать удлиненные, плоские, изолирующие завесы (газопорошковые среды), заполняющие заданные, ограниченные объемы. Но в наибольшей степени такие струи с мощным уплотненным фронтом пригодны для тушения сложных горящих поверхностей, когда необходимо обеспечить напыление множества частиц огнетушащего состава, проникающее в обугленную раскаленную поверхность горящего материала.

Третий механизм отличается наиболее интенсивным разрушением и торможением газопорошковой струи. Разрушение порошкового цилиндра начинается, видимо, еще в стволе, когда струя пороховых газов прорывает порошковый слой. Поэтому на срезе ствола образуется газопорошковая струя без уплотненного фронта и со значительной объемной долей несущей газовой фазы. Структура струи и механизм ее распространения ближе к первому механизму, но в отличие от него за срезом ствола струя подвергается не только аэродинамическому, но и внутреннему газодинамическому разрушающему воздействию. В результате данный механизм характеризуется наиболее интенсивным процессом разрушения и торможения струи. Вследствие высокой скорости распространения, значительного запаса кинетической энергии и, как можно предположить, мультивихревой структуры (газовые струи с малой объемной долей порошка, мелкие порошковые конгломераты, газопорошковая струя со значительной объемной долей порошка), такая

неоднородная нестационарная газопорошковая струя в наибольшей степени пригодна для объемного огнетушащего или взрывопредотвращающего воздействия, особенно в замкнутых ограниченных объемах.

На рис. 2 показаны зависимости дальности распространения струи на стволах различных длин и калибров от величины μ . Видно, что оптимальным является диапазон $\mu = 0,04 \div 0,08$; при этом оптимальное значение μ возрастает с увеличением калибра. При увеличении длины ствола заметно возрастает дальность распространения струи и в меньшей степени — оптимальное значение μ . Это дает основание сделать вывод о том, что увеличение массы метаемого порошка и времени взаимодействия в стволе пороховых газов с метаемым порошком повышает аэродинамическую устойчивость фронта струи — живучесть струи при полете.

Анализ результатов исследований [3] в рамках теории механики многофазных сред [1, 2] позволяет следующим образом описать процессы образования и распространения огнетушащей двухфазной газопорошковой струи. При ударе взрывной волны в зоне релаксации

(за передним скачком параметров) масса порошка постепенно прогревается и вовлекается в движение. При этом пороховые газы подгормаживаются. Динамические и тепловые возмущения, вносимые частицами в несущую газовую фазу, догоняют передний ударный фронт газа, проходящий сквозь порошковую массу, и вызывают его затухание. Если представить порошковую массу в стволе в виде ряда слоев, то волна газов проходит сквозь каждый порошковый слой лишь частично, как сквозь полупроницаемую стенку. В процессе проникновения пороховых газов порошковая масса ускоряется и образуется двухфазная однородная струя. При выходе потока из ствола часть продуктов взрыва обгоняет поток и образует ударный газовый фронт, за которым движется спутный, газопорошковый поток. Ударный фронт быстро теряет скорость под действием аэродинамического сопротивления. Газопорошковый поток сначала подпирает газовый фронт, а затем обгоняет его. После уравнивания скоростей частиц порошка и частиц газа последние как более мелкие быстрее теряют скорость и отстают. Теперь уже порошковый скелет потока действует на газовую волну подобно подпирающему полупроницаемому поршню. Лишь с этого момента встречный поток воздуха проникает внутрь струи, вытесняя пороховые газы и тормозя поток. Но это проникновение и торможение осуществляются значительно медленнее, чем в порошковой струе, которая не имеет несущей газовой фазы.

Таким образом, в данной статье показано, что имеется оптимальный диапазон массовых соотношений метательного заряда и метаемого огнетушащего состава, позволяющий достичь максимальных значений дальности газопорошковой струи. Этот диапазон справедлив для различных калибров и длин стволов. Длительность процесса распространения газопорошковой струи, ее аэродинамического разрушения, торможения и превращения в малоподвижное газопорошковое облако не превышает $0,5 \div 0,6$ с. Этот показатель справедлив для различных масс распыляемых порошков. Данные результаты позволяют оптимизировать процесс создания газопорошковых струй и определить время их функционального воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987.

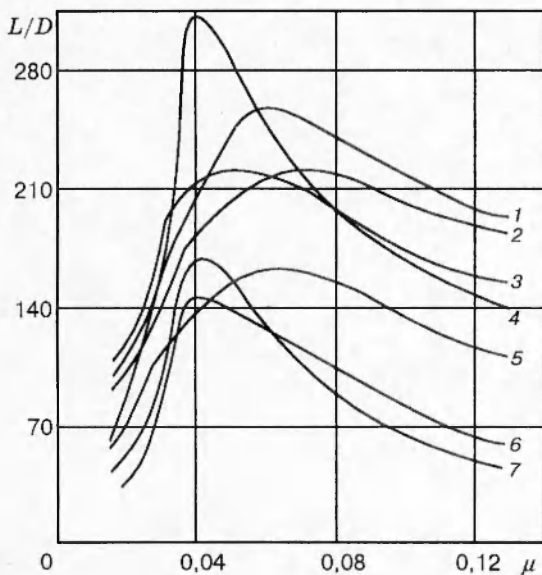


Рис. 2. Зависимость дальности распространения газопорошковой струи от величины μ на стволах различной длины L и разных калибров D :

1 — $D = 152$ мм, $L/D = 30$; 2 — $D = 152$ мм, $L/D = 20$; 3 — $D = 122$ мм, $L/D = 30$; 4 — $D = 100$ мм, $L/D = 35$; 5 — $D = 203$ мм, $L/D = 15$; 6 — $D = 122$ мм, $L/D = 10$; 7 — $D = 76$ мм, $L/D = 25$

2. **Ивандаев А. И., Кутушев А. Г., Нигматулин Р. И.** Численное исследование разлета облака диспергированных частиц или капель под действием взрыва // Изв. АН СССР. МЖГ. 1982. № 1. С. 82–90.
3. **Захматов В. Д.** Импульсный сруйный газодисперсный поток // Физика горения и взрыва. 1994. Т. 30, № 3. С. 69–75.
4. **Захматов В. Д.** Зависимость величины расхода огнетушащих составов от способа их подачи // Многофазные потоки: Сб. Харьков: ХАИ, 1988. С. 66–73.

*Поступила в редакцию 30/IX 1996 г.,
в окончательном варианте — 22/V 1997 г.*
