

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАЧАЛЬНЫЙ УЧАСТОК В СТРУЯХ ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

HYDRODYNAMIC ENTRY LENGTH IN HIGH- AND LAW-PRESSURE WATER JETS

Stas Serhiy

Fire Safety Academy, Ukraine

Seminskaya Natalya

NTUU "Kiev Polytechnic Institute", Ukraine

Kolesnikov Denis

Fire Safety Academy, Ukraine

Abstract

The unbalanced stream of heavy and complex liquids in high- and low-pressure water jets used in fire science and by destruction of rock with the help of monitors has been researched. The main rules that distinguish low-pressure water jets 0,2...2,0 MPa from high-pressure water jets 5,0...20,0 MPa have been analyzed. The recommendations on how to calculate the main water jet parameters in the area of its destabilization have been given.

Keywords: water jet, hydraulic resistance, fire trunk.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение струй высокого и низкого давлений являются одним из перспективных направлений развития науки и техники. Вопросы формирования потока вязкой жидкости в стволе, а так же изменения гидродинамических параметров таких струи на эффективном участке остаются открытыми. Среди областей промышленности, в которых применяются струи низкого и высокого давления, рассмотрим пожарное и горное дело. В пожарном деле диапазон используемых значений давления колеблется в пределах от 0,2 до 2,0 МПа, а расход огнетушащего вещества от 6-2400 л/мин. Как известно в горном деле, струи применяются для разрушения горных пород и добычи полезных ископаемых, значения используемых давлений колеблются от 20-250 МПа и 25 -250 л/мин.

Не смотря на такую разность исходных параметров, авторам статьи хотелось бы проанализировать общность струй высокого и низкого давлений и предложить универсальный подход к выбору параметров

формирования эффективных струй высокого и низкого давлений.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Важнейшим участком струй, которые используются в случае необходимости оперативными подразделениями Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС), а так же в горном деле является гидродинамический начальный участок.

Под гидродинамическим начальным участком подразумевается участок, в котором помимо сил вязкого трения принципиально важное значение играют силы инерции от конвективного ускорения. По сути, его длина определяет в конечном счете дальность истечения струи. За начальным участком начинается область начального распыления, или, как её принято называть раздробленная часть, на этом участке струи начинает нарушаться целостность струи. Начальный участок характеризуется незначительным углом распыления (конусность потока) и потерей переносимой жидкости (не более 5%, иногда до 15%). Создание устройств, которые давали бы возможность получать легко изменяемую длину началь-

ного участка, позволило бы вплотную приблизиться к решению важнейшей задачи получения «управляемых струй» [1].

Наиболее часто (в горном и пожарном деле) струи, делят на струи с малой компактной частью, с большой компактной частью, распыленные, туманы, комбинированные струи. Все они отличаются дальностью перемещения струи, ее расходом и дисперсностью струи в зоне тушения и разрушения горной породы. Получение таких струй обеспечивается использованием различных специальных пожарных стволов и насадок.

В Академии пожарной безопасности им. Героев Чернобыля МЧС Украины совместно с Национальным технологическим университетом Украины «КПИ» создан экспериментальный стенд [1], с помощью которого изучаются вопросы истечения огнетушащего вещества с известных и экспериментальных стволов и насадок.

В первый момент времени движения жидкости после ее истечения из струеформирующего устройства (СУ) будет неизменным, подобным течению в стволе или насадке. Конечно же такое утверждение является относительным и указывает лишь на незначительные изменения основных параметров свободной струи относительно параметров потока жидкости в канале СУ. Мгновенную картину процесса течения жидкости можно представить с помощью линий тока, совпадающих с направлением течения жидкости. Таким образом, направление вектора скорости каждой частицы будет совпадать с касательными в каждой конкретной точке линии тока. Причем, как видно из рис.1 касательное направление вдоль линии оси потока, способствует компактности струи.

Проведенные эксперименты показали, что компактная часть струи составляет не менее $1/3 l_{y_{\max}}$

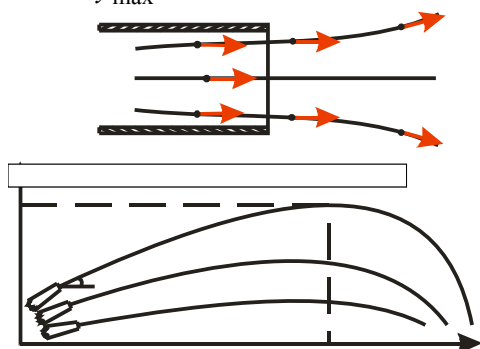


Рис 1

Внимание к особенностям истечения жидкости из ствола и приобретенными на этот момент ее свойствами объясняется тем фактором, что после выхода жидкости из струеформирующего устройства управлять потоком (струей) практически не представляется возможности. Особенности дальнейшего течения струи д. б. заложены еще в СУ. Для струй низкого и высокого давления главными характеристиками потока жидкости, являются давление $P_{x,y,z}$ в точке с пространственными координатами (x,y,z) в момент времени t и скорость движения каждой частицы потока U . Неустановившееся течение в СУ требует указание значений давления $P_{x,y,z}$ и скорости U ($u_1 = f_1(x,y,z,t)$, $u_2 = f_2(x,y,z,t)$, $u_3 = f_3(x,y,z,t)$ - проекции скорости на прямоугольные оси систем координат.

Управление длиной начального участка, дает возможность оперативно и рационально установить режим воздействия струи на объект в условиях конкретной эксплуатационной задачи.

Изучение конструкций стволов и насадок, используемых в пожарном и горном деле, позволяет условно разделить их на группы, прежде всего, опираясь на: параметры начального участка, расход жидкости, вид получаемой струи. На рис. 2 (а, б) приведены примеры насадок, обеспечивающих одинаковый расход, но различные типы струй.

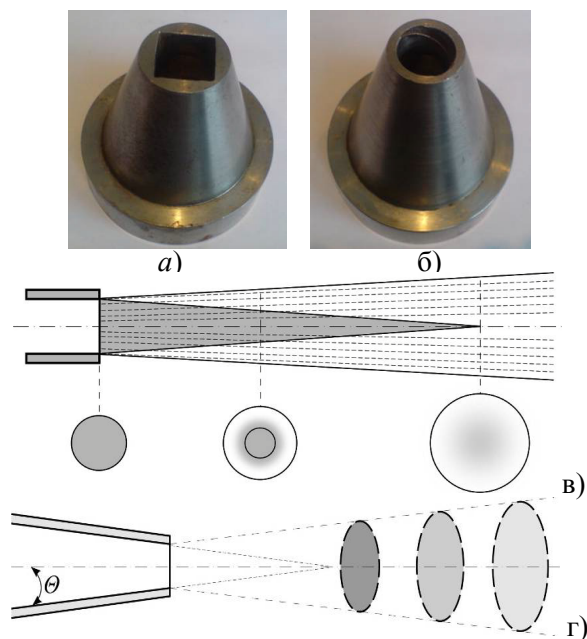


Рис. 2. Примеры насадок с квадратным сечением а), с кругло-винтовым сечением б), область распыления струи из цилиндрического в) иконического стволов. г)

На рис. 3 представлены основные типы (формы) конечного формирующего звена для водяной струи. Здесь не указаны специальные технические приемы усложнения вида получаемой струи, как-то «закручивание», пульсирование-прерывание, поскольку в данной статье они не рассматриваются как редко используемые на практике.

Насадки и стволы должны иметь суживающиеся либо цилиндрические внутренние полости (рис. 2 г, в) для того, чтобы компактная часть струи на их выходе была максимальной длины.

Таким образом, структура струи, длина гидродинамического начального участка и поведение потока в его компактной части зависит от условий формирования струи в СУ. Одним из основных требований, предъявляемых к конструкции подводящих каналов силовых устройств, является обеспечение снижения потерь энергии потока по длине канала, что способствует созданию эффективных и компактных струй. Плавный осесимметричный подвод жидкости по каналу перед насадком формирующим струю позволяет устранить вращение потока и образование крупных вихрей, которые способствуют возникновению циркуляционных и вторичных течений.

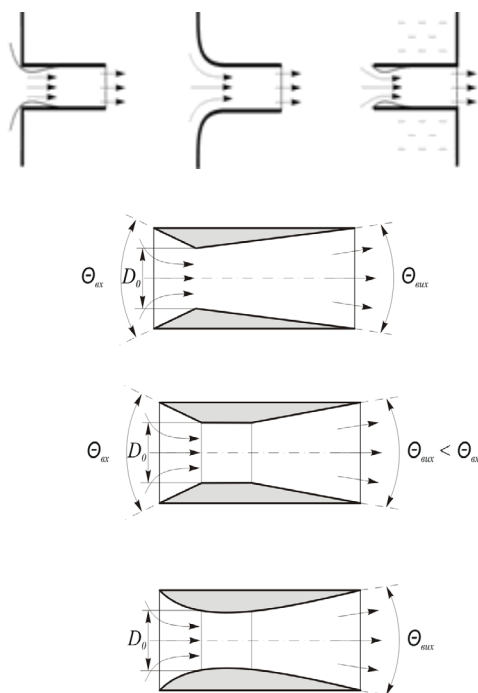


Рис. 3. Примеры исполнения цилиндрических и конических внутренних профилей стволов, θ - конусность

Компактность и длина начального участка струи зависят от материала, шероховатости, качества изготовления струеформирующего насадка, а так же от параметров конструкции его профиля.

Высота выступов шероховатости в насадке не должна превышать $R_a=0,32$ мкм, так как неровности его внутренней поверхности способствуют разрушению пограничного слоя.

Рациональная конструкция профиля насадки позволяет обеспечивать плавное возрастание скорости потока; выравнивать эпюру скоростей потока жидкости и формировать устойчивый пограничный слой, все это способствует получению на выходе из насадка компактной струи с высокими энергетическими параметрами.

Выполненные ранее исследования позволили установить, что наиболее рациональной формой профиля проточной части насадки является конусно-цилиндрическая. Применение насадок такой формы позволяет увеличить кинетическую энергию потока за счет плавного сужения канала конической формы, а так же обеспечить ламинаризацию пограничного слоя на входе в цилиндрический участок в результате увеличения абсолютного значения градиента давления. Пульсации поперечной составляющей скорости и других турбулентных возмущений, которые возникают в процессе разгона потока в конфузоре, частично осредняются и рассеиваются при прохождении потоком цилиндрического участка рациональной длины.

Выбор рациональных параметров подобной насадки, основан на моделировании профиля её проточной части, проведенного нами ранее [5], и получении зависимости изменения диаметра и скорости по длине канала.

Решение поставленной задачи рассмотрено [5] в гидравлическом приближении, принимая движение жидкости одномерным. В основу модели положен интеграл Эйлера, дифференциального уравнения движения идеальной жидкости.

С целью автоматизации проведения расчетов геометрических параметров насадки и динамических параметров потока по представленным зависимостям, а также построения

графических зависимостей разработана программа на языке *Delphi*, которая позволяет осуществлять профилирование проточной части канала и определять изменение средней скорости по сечению канала с учетом величины подводимого давления и сжимаемости рабочей жидкости для конически-цилиндрических насадок с произвольным количеством ступеней.

На основании проведенных расчетов определено, что наиболее рациональным, является использование двухступенчатых насадок (рис. 4). Моделирование разгонных характеристик потока в двухступенчатом канале насадки и аналогичных характеристик одноступенчатого профиля позволяет сделать вывод, что двухступенчатый профиль, за счет увеличения времени преобразования энергии, обеспечивает более плавный разгон потока, а следовательно, создает условия для повышения гидродинамической устойчивости формируемых струй высокого давления и увеличения длины начального участка. Разделение разгонного участка насадки на две ступени выполняется для стабилизации потока, в соответствии с принципом ступенчатой релаксации накопленных турбулентных возмущений потока жидкости, на цилиндрических участках рассматриваемой насадки.

На основании проведенных расчетов профиля насадки определены рациональные соотношения её геометрических параметров (см. табл. 1).

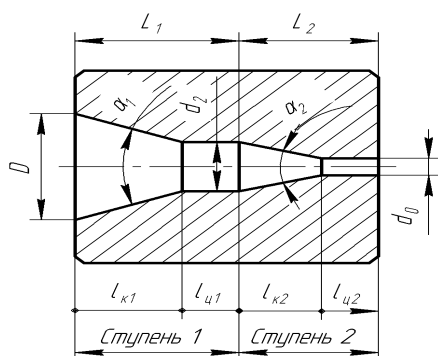


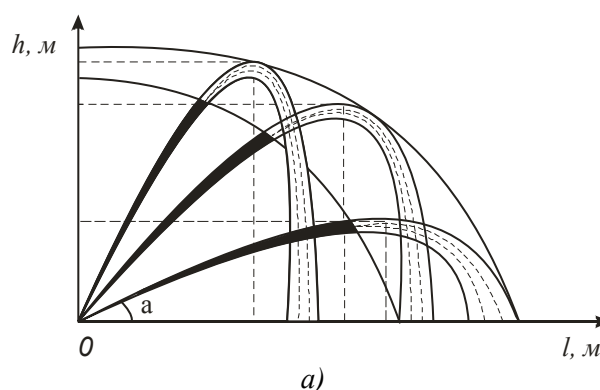
Рис. 4. Конструкция двухступенчатой насадки: $l_{к1}$ и $l_{к2}$ – длины конических частей соответственно первой и второй ступеней насадки; $l_{ц1}$ и $l_{ц2}$ – длины цилиндрических частей насадки; d_2 и d_0 – диаметры насадка соответственно на выходе первой и второй ступеней, α_1 и α_2 – углы конусности

Если обобщить рисунок 5, то можно сказать что закон изменения длины компактной части в зависимости от угла может быть представлен кривой, уравнения которой записывается в виде полинома типа $y = a_0 + a_1x_1^2 + a_2x_2^2 + \dots$, а длина компактной части приближенно описывается линейной зависимости $y = kx + b$. К сожалению, в полученные выражения для данных кривых входят эмпирические коэффициенты, значение которых необходимо определять в ходе эксперимента.

Созданная нами для этих целей установка дает возможность определить зависимость длины компактной части водяной струи от угла установки пожарного ствола или насадки, а так же от расхода протекающей жидкости и от условий истечения жидкости из ствола.

Таблица 1–
Рекомендуемые параметры насадки

№ ступени	Наименование параметра	Определение параметра
	Форма профиля	коническо - цилиндрическая, двухступенчатая
1	Угол конусности	$\alpha_1 = 30^\circ - 40^\circ$
	Длина цилиндрической части	$l_{ц1} = 1,5 - 2d_0$
	Диаметр на входе	$D = 6 - 10 d_0$
	Диаметр на выходе	$d_2 = 2,5 d_0$
2	Угол конусности	$\alpha_2 = 10^\circ - 12^\circ$
	Длина цилиндрической части	$l_{ц2} = 4d_0$
	Диаметр на выходе из насадка	Рекомендуется применять d_0 от 0,6 мм



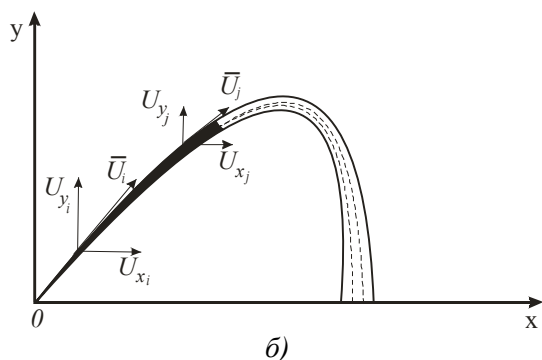


Рис. 5. Закон изменения длины компактной части струи

Исследование траектории течения струи и характера ее изменения во времени позволит определить продольную и поперечную (горизонтальную и вертикальную) составляющие скорости струи, а так же годограф этой скорости.

В результате проведенных экспериментов с использованием установки генерирования водяных струй были получены данные, обработка которых позволила получить следующие зависимости (рис. 5, 6)

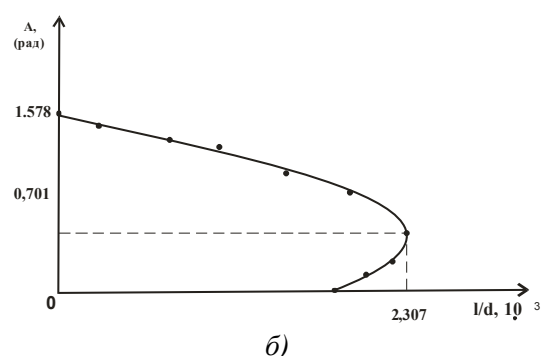
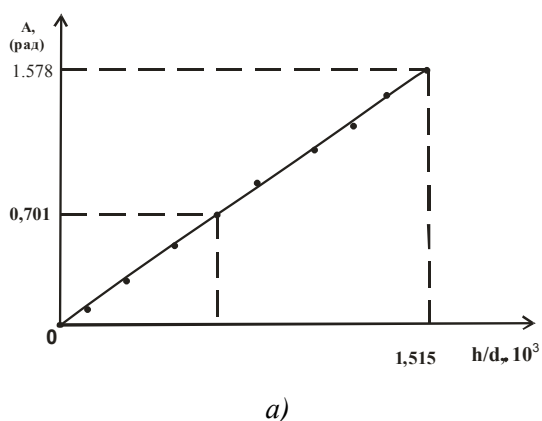


Рис. 6. Зависимость длины компактной части водяной струи от угла установки пожарного ствола или насадки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- согласно проведенным экспериментам получены зависимости характеризующие изменение длины струи от угла наклона ствола;

- в статье приведены результаты исследований, направленные на установление факторов, оказывающих существенное влияние на длину начального участка струи с целью повышения эффективности разрушающей способности струи и усовершенствования гидроструйных технологий при различных значениях подводимого давления (от 0,2 МПа до 250 МПа);

- предложена рациональная конфигурация профиля проточной части насадка, рекомендуемого к применению при различных значениях подводимого давления. Данная конфигурация позволяет обеспечивать увеличение кинетической энергии потока за счет плавного сужения канала конической формы, и позволяет частично осреднить пульсации поперечной составляющей скорости и других турбулентных возмущений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стась С. Создание экспериментального стенда по исследованию свободных гидравлических струй// Вестник НТУУ «КПИ», Машиностроение, 2007 – №51. С.82-87.
- [2] Ольшанский В.П., Халыпа В.М., Дубовик О.А. Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй.- Харьков: Митець, 2004.- 113 с.
- [3] Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика.- М.: Машиностроение, 1971г.-672 с.
- [4] Орлов Ю.М. Механика жидкости, гидравлические машины и основы гидропривода агрегатов ракетных комплексов. Учебное пособие. – М: ООО «Пресс-мастер», 2001.- 379с.
- [5] Семинская Н.В., Семинский А.О. Определение рациональных параметров струеформирующей насадки – Вестник НТУУ «КПИ», Машиностроение, 2009 – №55. С.142-148.