

И. В. Качанов, д.т.н, профессор,
М. В. Кудин, канд. техн. наук, доцент,
И. М. Шаталов, ст. преподаватель, М. К. Щербакова, ст. преподаватель,
К. Ю. Быков, магистрант, В.С. Рабченя, студентка
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАЛЬНОБОЙНОГО ПОЖАРНОГО ЛАФЕТНОГО СТВОЛА

Недостаточная обеспеченность хозяйственных объектов современными средствами пожаротушения приводит к быстрому развитию чрезвычайных ситуаций до масштабов, при которых применение стандартных средств тушения пожаров уже не дает положительных результатов. Одним из самых востребованных современных способов активного пожаротушения является дальнобойный лафетный ствол (ДЛС).

Для определения оптимальных формы и размеров ДЛС было выполнено компьютерное моделирование проточной части лафетного ствола в прикладном программном пакете «SolidWorks» [1, 2], где учитывались следующие факторы:

1. Проточная часть лафетного ствола должна иметь круглую, прямоугольную и овальную форму поперечного сечения.

2. Из условия статической устойчивости ДЛС проточная часть лафетного ствола включает в себя три плавных поворота (колена) на угол 90° и один плавный поворот (колени) на угол 180° .

В результате компьютерного моделирования с учетом вышеизложенных факторов проточная часть круглой, прямоугольной и овальной формы поперечного сечения экспериментального образца ДЛС с винтовой структуризацией потока приобрела формы, изображенные на Рис. 1.

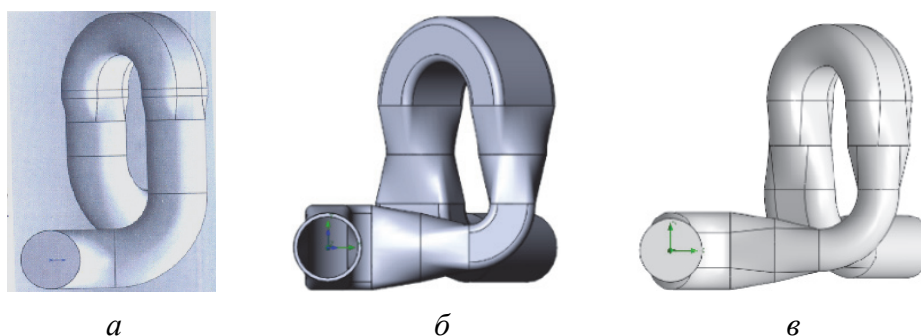


Рисунок 1. Компьютерные модели проточной части дальнобойного пожарного ствола с различной формой поперечного сечения:
a, б, в – круглая, прямоугольная и овальная формы соответственно

Далее была создана обобщенная имитационная математическая модель течения несжимаемой вязкой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса [3, 4]

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + V \cdot \nabla^2 \cdot V_i, \quad (1)$$

в этом уравнении $\frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0$ ($i, k=1, 2, 3$).

Совместно с уравнением Навье-Стокса рассматривались следующие уравнения:

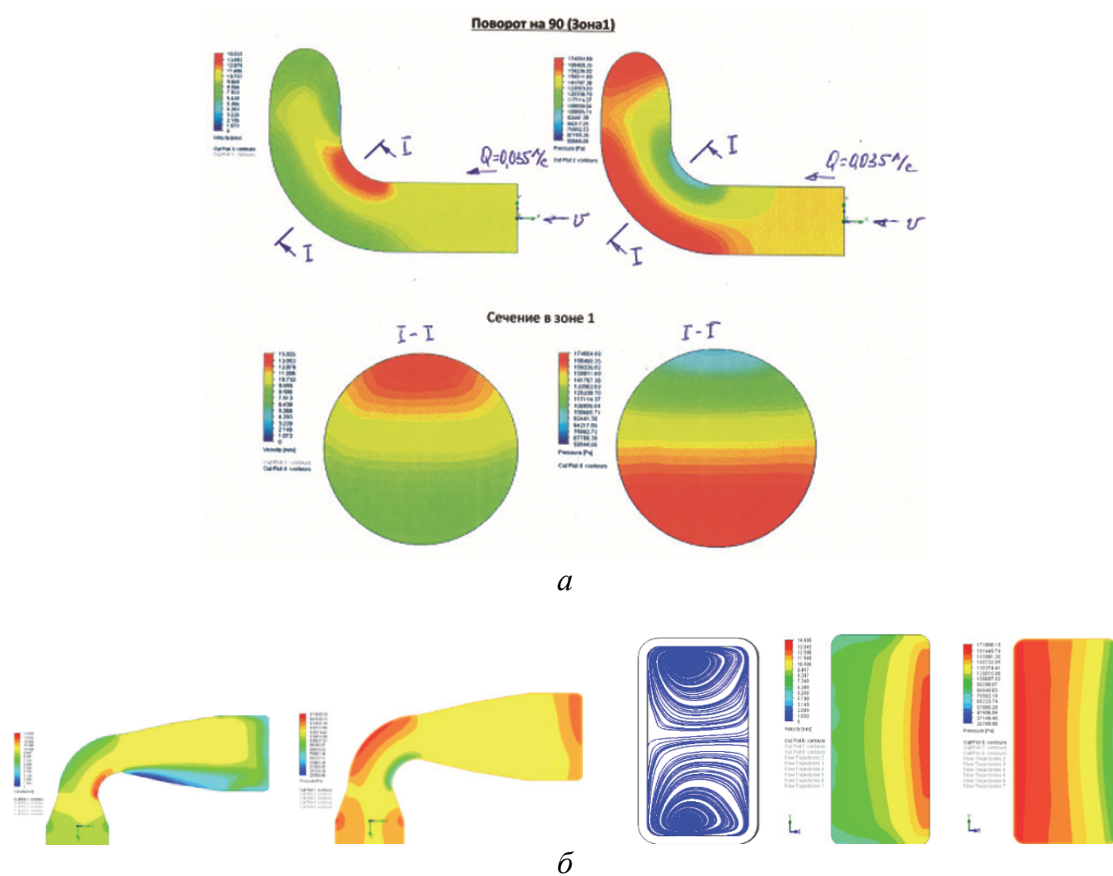
1. Уравнение неразрывности в виде:

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (2)$$

2. Уравнение диссипации энергии в виде

$$\rho \frac{d}{dt} \left(U + \frac{V^2}{2} \right) = \rho FV + \text{div}(pV) + \rho q. \quad (3)$$

Некоторые результаты моделирования и гидродинамических расчетов представлены на Рис. 2.



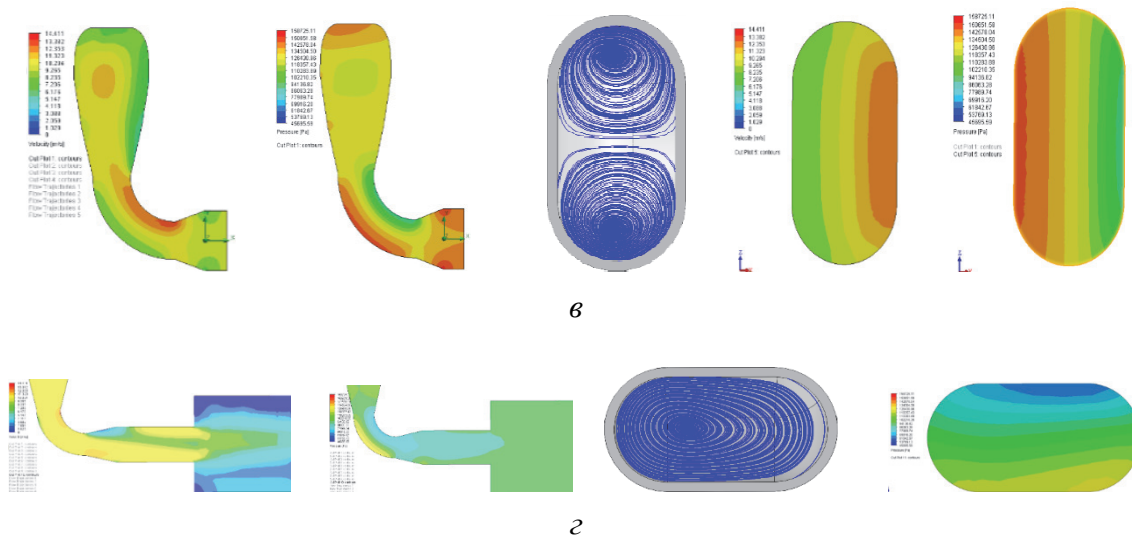


Рисунок 2. Диаграммы распределения скоростей и давлений проточной части ДЛС различной формы поперечного сечения:
а – круглая форма поперечного сечения,
б – прямоугольная форма поперечного сечения,
в, г – овальная форма поперечного сечения

Физическая сущность сопротивления в изогнутых гидравлических каналах (трубах) заключается в следующем. В изогнутых каналах (трубах) скорость движения жидкости изменяет свое направление, что сопровождается искривлением линий тока (поворот потока) и появлением центробежных сил, приводящих к тому, что по направлению от центра кривизны давление увеличивается, а скорость соответственно падает и, наоборот, по направлению к центру кривизны скорость возрастает, а давление падает. Поэтому в коленах и отводах при переходе жидкости из прямолинейного участка в изогнутый скорость вблизи внутренней стенки повышается (см. рис. 2), а давление соответственно уменьшается, т.е. возникает конфузальный эффект. Вблизи внешней стенки колена происходит обратное явление: скорость падает, а давление растет, т.е. возникает диффузорный эффект. Переход жидкости из изогнутой части в прямолинейный участок (после поворота потока) сопровождается противоположными явлениями: диффузорным эффектом вблизи внутренней стенки и конфузальным вблизи внешней стенки. Диффузорные явления приводят к соответствующему отрыву потока от обеих стенок. При этом отрыв от внутренней стенки усиливается стремлением потока по инерции двигаться прямолинейно – в данном случае – по направлению к внешней стенке.

Вихревая зона, возникающая вследствие отрыва потока от внешней стенки, незначительна. Наоборот, отрыв от внутренней стенки

приводит к интенсивному вихреобразованию, зона которого распространяется далеко за изгибом канала.

Помимо вихревых областей у внутренней и внешней стенок, в изогнутом канале возникает ещё так называемый «парный вихрь» (см. Рис. 2), обусловленный наличием пограничного слоя и соответственно – ядра потока с максимальными скоростями. Это ядро, стремясь в изогнутом канале двигаться по инерции в направлении к внешней стенке (т.е. к стенке, расположенной дальше от центра кривизны канала), в силу неразрывности движения, заставляет более медленные слои жидкости в пограничном слое двигаться вблизи обеих боковых стенок в сторону внутренней стенки поворота (т.е. к стенке, расположенной ближе к центру кривизны канала), в результате чего в поперечном сечении канала возникают два вихря.

Появление «парного вихря» может существенно (в 1,5–2 раза) увеличить гидравлическое сопротивление проточной части лафетного ствола.

В результате проведенного компьютерного моделирования можно сделать вывод, что структура потока и сопротивление изогнутых каналов определяется тремя явлениями: образованием вихревой области у внутренней стенки поворота, образованием такой же области у внешней стенки и возникновением «парного вихря» в поперечном сечении канала. Основную роль при этом играет вихреобразование у внутренней стенки. Оно в основном определяет сопротивление изогнутого канала и деформацию скоростного поля во всем прямом участке за изгибом.

Теоретическое и компьютерное моделирование показало, что влияние «парного вихря» на гидравлическое сопротивление проточной части лафетного ствола можно свести к минимуму (практически к нулю), изменяя форму поперечного сечения проточной части. Причем наиболее оптимальной формой является овальная форма поперечного сечения, в которой «парный вихрь» практически исчезает (см. Рис. 2, г).

ЛИТЕРАТУРА

1. Уилкинсон, У.Л. Неньютоновские жидкости / У.Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

2. Ахметов, Ю.М. Численное и физическое моделирование течения жидкости в вихревом теплогенераторе / Ю.М. Ахметов, Р.Р. Калумлин, В.А. Целищев. – Уфа: Вестник УГАТУ «Машиностроение», т.14 №4 (39). – 2010. – С.42–49.

3. Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение в летательных аппаратах / Б.Б. Некрасов. // Машиностроение. – 1967. – 368 с.

4. Альтшуль, А.Д., Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414с.