

**Теоретические и компьютерные исследования дальнобойного  
пожарного лафетного ствола (ДЛС) при ликвидации чрезвычайных  
ситуаций на объектах водного транспорта**

Качанов И. В.<sup>1</sup>, Кудин М. В.<sup>2</sup>, Шаталов И. М.<sup>1</sup>, Кособуцкий А. А.<sup>1</sup>

Щербакова М. К.<sup>1</sup>, Хвитько К. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусская государственная академия авиации

Минск, Республика Беларусь

*В статье представлены результаты теоретического и компьютерного исследования дальнобойного пожарного лафетного ствола с обоснованием выбора формы поперечного сечения его проточной части.*

Одним из самых востребованных современных способов активного пожаротушения в любой области хозяйственной деятельности человека, в том числе на водном транспорте, является применение дальнобойных лафетных стволов (ДЛС). На кафедре ГЭСВТГ БНТУ в период 2013–2014 гг. выполнялась НИР ГБ 13-05 «Научное обоснование конструктивных решений, разработка экспериментального отечественного образца дальнобойного лафетного ствола с винтовой структуризацией потока» в рамках задания 2.2.30 ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» по созданию отечественного образца ДЛС.

Для определения оптимальных формы и размеров ДЛС было выполнено компьютерное моделирование проточной части лафетного ствола в прикладном программном пакете «SolidWorks» [1].

При компьютерном моделировании учитывались следующие факторы:

1. проточная часть лафетного ствола должна иметь различную (круглую, прямоугольную и овальную) форму поперечного сечения.
2. из условия статической устойчивости ДЛС проточная часть лафетного ствола должна включать в себя три плавных поворота (колена) на угол  $90^\circ$  и один плавный поворот (колена) на угол  $180^\circ$ .

В результате компьютерного моделирования с учетом вышеизложенных факторов проточная часть круглой, прямоугольной и овальной формы поперечного сечения экспериментального образца дальнобойного пожарного лафетного ствола приобрела формы, изображенные на рис. 1.

Для определения оптимальных параметров ДЛС была создана обобщенная имитационная математическая модель течения несжимаемой вязкой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса [2], записанного относительно оси  $Ox$  декартовой системы координат

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

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

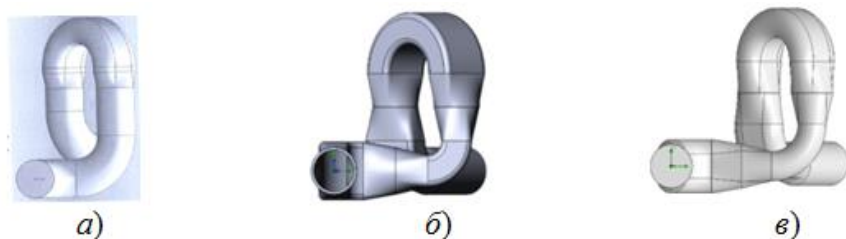


Рис. 1. Компьютерные модели проточной части дальнобойного пожарного ствола с различной формой поперечного сечения:

*a* – круглая, *б* – прямоугольная, *в* – овальная

Совместно с уравнением Навье-Стокса рассматривались следующие уравнения:

1. Уравнение неразрывности

$$\nabla \cdot V = 0$$

2. Уравнение диссипации энергии

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

Для создания сетки расчетной области и проведения численных расчетов использовался программный продукт по вычислительной гидродинамике «Cosmos Flo Works» [1, 2].

Некоторые результаты моделирования и гидродинамических расчетов представлены на рис. 2. 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 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 (рис. 2), а давление соответственно уменьшается, т.е. возникает конфузурный эффект.

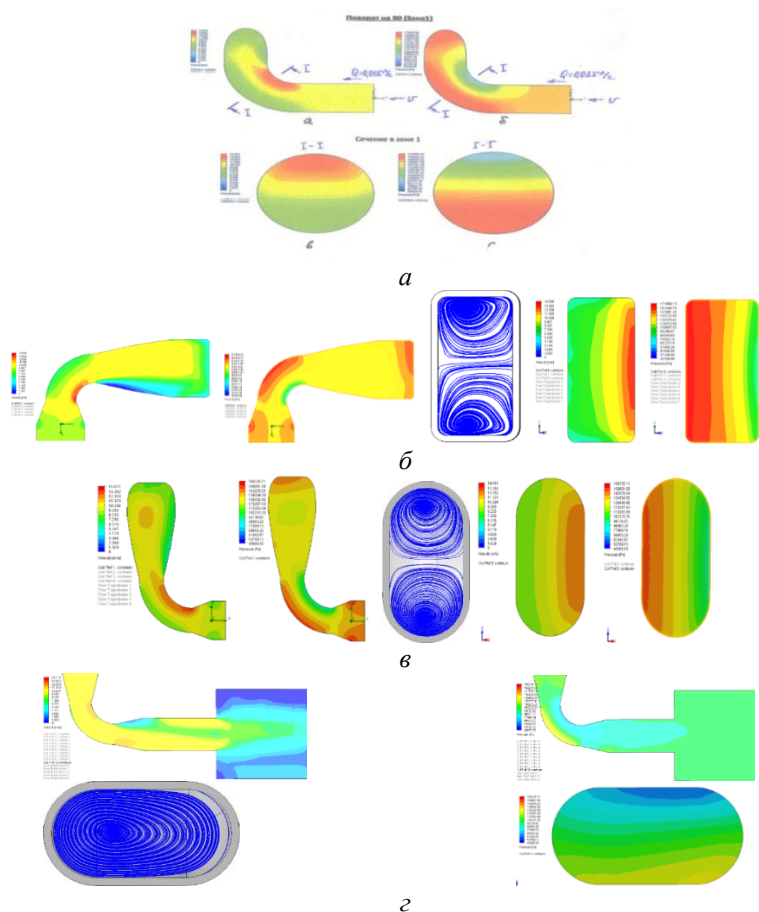


Рис. 2. Диаграммы распределения скоростей и давлений проточной части ДПС различной формы поперечного сечения:  
*а* – круглая форма поперечного сечения, *б* – прямоугольная форма поперечного сечения, *в, з* – овальная форма поперечного сечения

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 конфузорным вблизи внешней стенки. Диффузорные явления приводят к соответствующему отрыву потока от обеих

стенок. 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: она заполняет только внешний угол поворота, не стесняя заметно сечения основного потока. 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» (рис. 2), Появление этого вихря обуславливается наличием пограничного слоя и, соответственно, ядра потока с максимальными скоростями.

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.

Теоретическое и компьютерное моделирование показало, что существенно снизить гидравлическое сопротивление проточной части лафетного ствола можно за счет исчезновения «парного вихря» путем изменения формы поперечного сечения. При этом наиболее оптимальной формой является овальная форма поперечного сечения с соотношением осей овала 1:2(3) (причем большая ось направлена в сторону кривизны плавного поворота (колена), в которой «парный вихрь» практически исчезает (рис. 2, з), что приводит к снижению гидравлического сопротивления до 1,5 раз.

### Литература

1. 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.
2. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.