

- повышается надежность процесса очистки за счет применения двух ступеней сооружений;
- снижается энергопотребление станции за счет исключения насосов подкачки, промывных насосов и компрессорного оборудования;
- такая технология может быть применима для гарантированного обеспечения требуемого качества питьевой воды населенным пунктам, использующим подземные воды, аналогичного физико-химического состава.

Библиографический список

1. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. – М.: Стройизд., 1987. – 240 с.
2. Говоров О.Б., Говорова Ж.М., Ерикина М.Н., Меляков Ф.А., Тихонов М.К. Реконструкция и модернизация станции обезжелезивания с применением безреагентной энергосберегающей технологии кондиционирования подземной воды // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2016. – № 5. – С. 27-33.
3. Говоров О.Б. Безреагентное кондиционирование железосодержащих подземных вод на биореакторах-фильтрах: автореф. дисс. ... канд. т. н. – Вологда, ВоГТУ, 2007. – С. 20.
4. Журба М.Г., Говоров О.Б., Говорова Ж.М., Квартенко А.Н. Биореакторы-фильтры с плавающей загрузкой в технологиях кондиционирования подземных вод // Сантехника. – 2012. – № 3. – С. 50-54.
5. Патент 2356854, РФ. МПК С 1, В 01 D 24/00. Биореактор-фильтр / Говорова Ж.М., Говоров О.Б., Журба М.Г. // Изобретения. Полезные модели. – 2009. – № 15.
6. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Научное издание. – М., 2011. – 536 с.
7. Муше П., Герасимов Г.Н. Биологическая деферризация воды: обоснование и реализация // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 11. – Ч. 2. – С. 40-47; № 12. – С. 35-39.
8. Холодный Н.Г. Железобактерии. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1953. – 225 с.
9. Журба М.Г. Инновационные технологии фильтрования водных суспензий через плавающие полимерные загрузки // Водоснабжение и канализация. – 2010. – № 5-6. – С. 47-56.

Дмитриченко А.С., Качанов И.В., Шкутник В.А., Шаталов И.М., Щербакова М.К., Качанова Е.В., Быков К.Ю.,
Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, г. Минск

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАЛЬНОБОЙНОГО ПОЖАРНОГО ЛАФЕТНОГО СТВОЛА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

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

Ключевые слова: лафетный ствол, гидравлическое сопротивление, форма поперечного сечения, проточная часть, «парный вихрь», винтовая структуризация потока.

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].

При компьютерном моделировании 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 (колена) на угол 180° .

3. Плавные повороты проточной части лафетного ствола соединяются между собой прямолинейными переходниками.

4. Диаметр поперечного сечения проточной части лафетного ствола, а также углы и радиусы поворотов назначались с учетом существующей практики расчета и проектирования дальнобойных пожарных лафетных стволов.

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



а)

б)

в)

а, б, в – круглая, прямоугольная и овальная формы соответственно

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

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

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

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:

$$\nabla \cdot V = 0$$

2. Уравнение диссипации энергии в виде

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

Коэффициент турбулентности потока μ_t определялся из уравнения

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon},$$

где k – турбулентная кинетическая энергия;

ε – турбулентная энергия диссипации;

C_μ – константа, определяющая турбулентную вязкость.

Для нахождения k и ε требуется решить два дополнительных уравнения – уравнение турбулентной кинетической энергии и уравнение скорости диссипации. Вид данных уравнений зависит от выбора модели турбулентности. Для стандартной $k - \varepsilon$ модели:

1. уравнение для массовой плотности турбулентной энергии k :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + V(\rho V_k) = V \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{G_k} \right) V_k \right] + \mu_t G + \rho \varepsilon; \quad (3)$$

2. уравнение для скорости диссипации турбулентной энергии:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho V_\varepsilon) = \nabla \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{G_k} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (4)$$

где $G = D \frac{\partial v_1}{\partial x_2}; D = S - \frac{2}{3} \left(\nabla_V + \frac{\rho k}{\omega_t} \right) \delta; S = \frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1}$ (5)

Удельное количество энергии

$$q_k = - \left(\frac{\mu_l}{p_r} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) C_\rho \frac{\partial T}{\partial x_k}; k = yl; tr; kr, \quad (6)$$

где $\sigma_c = 0,9$;

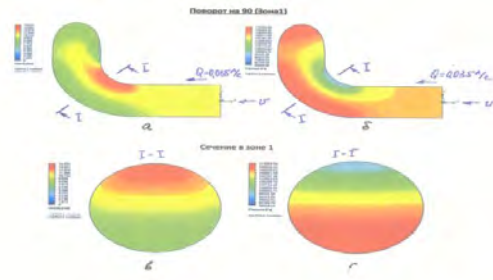
p_r – число Прандтля;

C_ρ – удельная теплоемкость при постоянном давлении;

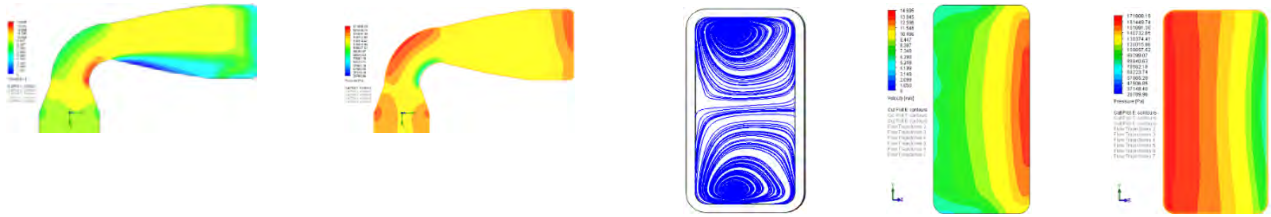
T – температура текучей среды. При моделировании рассматривался изотермический процесс ($T = const$).

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

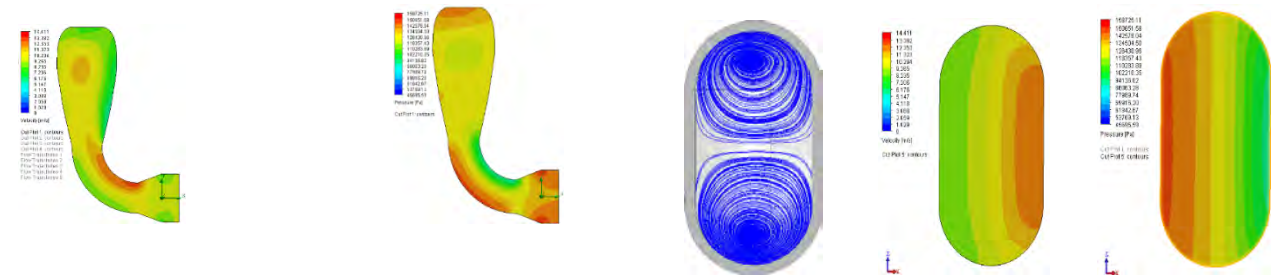
Некоторые результаты моделирования и гидродинамический расчетов представлены на рис. 2.



а)



б)



в)



г)

а – круглая форма поперечного сечения, б – прямоугольная форма поперечного сечения, в, г – овальная форма поперечного сечения

Рис. 2. Диаграммы распределения скоростей и давлений проточной части ДЛС различной формы 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 умень-

шается, т.е. возникает конфузорный 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 конфузорным 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: 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» (см. рис. 2), Появление этого вихря обуславливается 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.

Вторичные токи, создаваемые парным вихрем, налагаются на главный поток, параллельный оси канала, и в результате придают линиям тока винтообразную форму (см. рис. 2), которая распространяется на прямой участок за изгибом и исчезает весьма медленно на большой длине. Практически закручивание потока заканчивается на длине 10÷15 калибров. Такое закручивание потока увеличивает потери энергии в нем почти в 1,5–2 раза.

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.

Величина коэффициента сопротивления изогнутых каналов и картина потока в них изменяются как под влиянием факторов, определяющих степень турбулентности потока (числа Re , относительной шероховатости $\bar{\Delta}$, условий входа и др.), так и формы канала (угла поворота δ , относительного радиуса за-

кругления $\frac{r}{d}$, относительной вытянутости поперечного сечения $\frac{h}{d}$, соотношения площадей входа и выхода $\frac{S_2}{S_1}$ и др.).

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).

Библиографический список

1. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости / У.Л. Уилкинсон. – М., 1964. – 216 с.
2. Ахзметов Ю.М. Численное и физическое моделирование течение жидкости в вихревом теплогенераторе / Ю.М. Ахметов, Р.Р. Калумлин, В.А. Целищев. – Уфа: Вестник УГАТУ «Машиностроение». – 2010. – Т. 14. – № 4 (39). – 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. – 414 с.

Дмитриченко А.С., Качанов И.В., Кулебякин В.В., Кудин М.В., Шаталов И.М., Щербакова М.К., Быков К.Ю., Ефимова О.А.,
Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, г. Минск

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ ОГNETУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ ИЗ СТВОЛА УСТАНОВКИ ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Аннотация: в статье представлены результаты теоретического и компьютерного моделирования истечения огнетушащей жидкости из ствола установки импульсного пожаротушения.

Ключевые слова: огнетушащее вещество, установка импульсного пожаротушения, ствол, распыление, компьютерное моделирование, распыленная жидкость.

В настоящее время все больше внимание уделяется повышению эффективности тушения пожаров за счет использования распыленной воды. В республике Беларусь и за рубежом основным техническим устройством формирования распыленных струй в импульсном режиме является переносная установка импульсного пожаротушения (УИП).

Анализ публикаций показал, что, несмотря на широкое распространение технологий импульсного пожаротушения, в настоящее время отсутствуют научно обоснованные методики, позволяющие определить быстродействие и интенсивность подачи огнетушащих веществ, при использовании УИП, что снижает эффективность их применения. С этой целью было проведено компьютер-