

Гидромеханические методы повышения эффективности систем пожаротушения и гидродинамика открытых потоков при чрезвычайных ситуациях на сооружениях напорного фронта

Карпенчук И.В. [1 – 8], Кузнецов А.В. [1,6],
Красовский А.И. [2], Аушев И.Ю. [3], Стриганова М.Ю. [4],
Петуховский С.Г. [5], Лосик С.А. [7], Пармон В.В. [8]
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь
Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и
проблем чрезвычайных ситуаций

УДК 614.842

1. Пожарные аварийно-спасательные машины для ликвидации чрезвычайных ситуаций на водных объектах

МЧС Республики Беларусь для ликвидации последствий ЧС на водных объектах и проведения неотложных аварийно-спасательных работ использует инженерную технику и специальные технические средства. Они предназначены для доставки боевого расчета, пожарного оборудования и средств пожаротушения к месту пожара на объектах и для тушения лесных и торфяных пожаров, куда невозможен подъезд пожарных автомобилей.

Находит применение армейская инженерная техника: плавающие гусеничные транспортеры К-61 и ПТС, буксирно-моторные катера БМК-150 и БМК-Т.

По суше катер БМК-150 перевозится как прицеп за специально переоборудованным автомобилем Зил-157 или Зил-131. Катер для транспортирования по суше имеет собственный колесный ход. Катер БМК-Т перевозится загруженным на специально оборудованном автомобиле Краз-255В. На базе буксирно-моторного катера БМК-Т создан пожарный катер «ИСКРА».

Широкое применение находят моторные катера типа "Прогресс-2М", «Крым», надувные лодки типа НЛ-8, предназначенные для перевозки личного состава, спасательного оборудования и оказания помощи на воде

В настоящее время разработаны специальные аварийно-спасательные устройства: сверхлёгкий амфибийный аппарат на воздушной подушке «Стрелец-5» с двигателем «Rotax» и два

типа колесных вездеходов на пневматиках сверхнизкого давления, предназначенные для проведения аварийно-спасательных и патрульных работ в заболоченных зонах, на водоемах и в условиях бездорожья.

- вездеход аварийно-спасательный «Радян - 1»;
- вездеход патрульный «Радян - 2».

УДК 614.842.62(076)

2. Сопротивления пожарных стволов

Пожарные стволы представляет собой конический сходящийся канал, который заканчивается распылителем, формирующим струю. В некоторых случаях выполняется сменный распылитель, получивший название «насадка». Зависимость между основными параметрами пожарного ствола – напором H и расходом Q – имеет вид

$$H = sQ^2; \quad s = \frac{1}{2g\mu^2\omega^2},$$

где: s – сопротивление; μ - коэффициент расхода насадка; ω - площадь поперечного сечения насадка (распылителя).

В настоящее время применяют значения сопротивлений, которые посчитаны при $\mu = 1$ (см. табл.). Но следует заметить, что на практике значения близкие к единице (0,97...0,99) получены только для конoidalного насадка. С другой стороны, в гидравлике насадком называется присоединенная к отверстию в стенке короткая трубка, длина которой составляет 3...4 диаметра. В то время как пожарный ствол слишком длинный, а его сменный распылитель слишком короткий, чтобы считать их вместе или отдельно полноценным насадком с точки зрения гидравлики. Поэтому действующие значения сопротивлений s нуждаются в уточнении.

Ствол	d насадка, мм	Действующие значения s	Уточненные значения s
ПЛС-20	28	0,135	0,15
РС-50	13	2,890	3,086
РС-70	19	0,634	0,730
РСК-50	12	-	5,487

Используя государственные стандарты на изготовление пожарных стволов, в которых указаны минимальные расходы

при рабочем давлении, были уточнены значения сопротивлений s (см. табл.), близкие к практическим результатам.

УДК 532:654.924.5

3. Возможность применения элементов струйной техники в автоматических установках пожаротушения

Для автоматического пуска установок пожаротушения традиционно применяют электрическую систему. Однако при аварийном отключении электроэнергии в чрезвычайных ситуациях в системах пожаротушения ту же задачу можно решать с помощью гидродистанционного управления на основе струйных управляющих устройств. Нагнетательная магистраль 1 (рис. 1) подсоединена, например, к пневмобаку и в обычном состоянии перекрыта нормально закрытым электроклапаном. При отключении электроэнергии клапан открывается, и система дистанционного управления начинает функционировать.

Струйный элемент типа «сопло-сопло» обладает важным свойством – односторонней проводимостью сигналов, проходящих через него. Это свойство является следствием того, что энергия потока на участке между приемным и питающим соплами превращается в кинетическую энергию струи, поэтому любые изменения расхода или давления в приемном канале не влияют на работу питающего сопла.

Используя это свойство, расположим в трубопроводе 1 по которому нужно передать информацию два струйных элемента 2 и 4 типа «сопло-сопло», один из них на входе в трубопровод, а второй на выходе из трубопровода у потребителя, например, в виде сервоцилиндра 5.

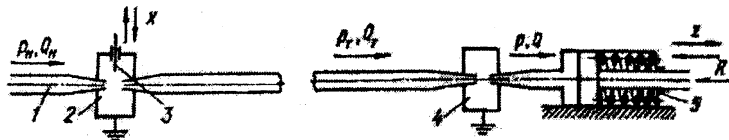


Рис.1. Схема дистанционного управления одинарного действия на основе проточных струйных элементов

Система предполагается, как аварийная, дублирующая. В случае отсутствия сигнала (при отключении электроэнергии) от

пожарных извещателей и невозможности включения электродвигателя - можно применить предлагаемую гидравлическую схему на основе струйных элементов для дистанционного открытия клапана узла управления дренажной автоматической установки пожаротушения.

УДК 532. 628. 843

4. Расчет времени опорожнения водохранилища при разрушении сооружения напорного фронта

При расчете времени опорожнения водохранилища принят самый неблагоприятный случай – то есть перелив начинается по всему фронту плотины с учетом того, что длина плотины в динамике размыва будет уменьшаться по высоте и длине.

Форма зеркала водохранилища может быть произвольной, но пропорциональной площади при последовательном опорожнении. По фронту плотина делится на три участка по высоте, площадь которых принимается прямоугольной.

Известная формула для определения времени опорожнения водохранилища при переменном напоре и переменной площади горизонтального сечения резервуара в рассматриваемом случае будет иметь вид:

$$t = \int_0^H \frac{\Omega dz}{m \varpi \sqrt{2gz}}$$

Коэффициент расхода определяем как для трапециидального профиля, причем на каждом участке интегрирования коэффициент расхода будет различным в зависимости от соотношения оставшихся при размыве напора и высоты плотины

Проведя интегрирование и преобразования общее время опорожнения водохранилища или прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины равно

$$t = \frac{75\Omega_{\text{зепк}}}{B\sqrt{2gH}}$$

До настоящего времени опорожнение водохранилища при разрушении плотины не рассматривалось при условии неустановившегося движения, с учетом изменения коэффициента расхода.

Предложенные расчеты могут быть использованы в отечественной практике по определению основных параметров «волны прорыва» при прогнозировании последствий ее прохождения по водотоку при разрушении гидродинамически опасных объектов на территории Республики Беларусь.

УДК 614. 842. 615

5. Повышение эффективности распыливания при пожаротушении мелкодисперсной водой

Применение эффективных и экономичных технологий тушения пожаров является актуальной задачей в практике подразделений МЧС. Несмотря на то, что в области разработки новых огнетушащих веществ и технологий пожаротушения в последние годы заметен значительный прогресс, вода еще длительное время будет оставаться основным огнетушащим веществом. Для повышения его огнетушащей эффективности используется подача воды в очаг пожара в виде распыленной струи, дисперсность которой может быть различной в зависимости от ряда факторов: устройства и условий работы распылителя, параметров распыливания, а также химического состава огнетушащего вещества. Мелкодисперсная вода с диаметром капель менее 100 мкм является эффективным средством объемного пожаротушения. Распыливание жидкости, вытекающей из некоторого насадка в пространство, заполненное газом, является результатом взаимодействия потока жидкости с окружающей газовой средой. Это взаимодействие носит весьма сложный характер, так как распадается не только струя, но и отдельные капли. При гидравлическом распыливании основным энергетическим фактором, приводящим к распаду жидкости на капли, является давление нагнетания. Одним из путей повышения эффективности распыливания является применение поверхностно-активных веществ (ПАВ). Даже небольшие концентрации, порядка 0,02–0,03 % снижают поверхностное натяжение воды на 50% и более, что может быть использовано при получении мелкодисперсной воды для целей пожаротушения. Следует отметить, что хотя

гидродинамические параметры при распыливании остаются достаточно высокими для обычных стволов, использование добавок ПАВ в совокупности со специальными стволами-распылителями, является перспективным направлением при использовании мелкодисперсной воды для целей пожаротушения.

УДК 614.842

6. Применение методов газодинамики для охлаждения огнетушащего аэрозоля при его генерировании

Оптимальное очертание улитки спирального подвода, обеспечивающее максимальную эффективность очищающегося устройства, выполненного в виде суперциклона, оказывает существенное влияние на структуру потока и эффективность работы устройства в целом. Поэтому целесообразно получить обоснованное с гидромеханической точки зрения очертание улитки спирального подвода методами теории струй, комплексного потенциала и теорией конформных отображений.

Задача нахождения координат криволинейной границы улитки решается из условия постоянства местной скорости вдоль нее. Такое условие обеспечивает максимально-теоретическую работу рассматриваемой конструкции устройства при минимизации гидравлических потерь.

Интегрируя область комплексного потенциала и разделяя действительную и мнимую части, получим расчетные формулы для оптимальных координат улитки спирального подвода.

Расчет параметров циклона с оптимальными параметрами для очистки воздуха от продуктов сгорания определенной фракции осуществляется численными методами на ЭВМ. Задавая значение угла входа потока в циклон и вспомогательных переменных вычисляется значение относительного радиуса циклона по формулам (1) и (2).

$$\frac{R_B}{\alpha} = \frac{1}{\pi} (\sqrt{d+a} + \sqrt{1+d})^{2\alpha} \cdot (\sqrt{a+1})^4 \cdot \int_0^a \frac{t(d+t)^\alpha dt}{0(\sqrt{d(1-t)} \cdot \sqrt{a-t})^4 \cdot (\sqrt{(1+t)(1-t)} + \sqrt{(a-t)(d+t)})^{2\alpha}}, \quad (1)$$

$$\frac{R_D}{\alpha} = \frac{1}{\pi} (\sqrt{d+a} + \sqrt{1+a})^{2\alpha} \cdot (\sqrt{a+1})^4 \cdot \int_0^a \frac{t(d+t)^\alpha dt}{-d(\sqrt{d(1-t)} + \sqrt{a-t})^4 \cdot (\sqrt{(d+t)(1-t)} + \sqrt{(a-t)(d+1)})^{2\alpha}}, \quad (2)$$

7. Движение по системам пожаротушения и рукавным системам растворов с пенообразователем

Возможность направленного изменения характеристик работы противопожарной техники путем введения в поток воды растворов высокомолекулярных полимеров, снижающих гидродинамическое сопротивление, является одним из перспективных путей повышения эффективности ее работы в экстремальных ситуациях. Исходя из модели турбулентного потока, предложенной Прандтлем, можно записать:

$$\tau/\rho l^2 = - \left(dU/dy \right)^2; - dU/dy = \sqrt{f(\tau)}$$

Принимая, что скорость у стенки $v_r = 0$, можно записать:

$$- \int_0^U dU = \int_r^R \sqrt{f(\tau)} dy, \quad - \int_0^U dU = \left(r/\tau_r \right) \int_r^R \sqrt{f(\tau)} d\tau$$

Для неньютоновских жидкостей получим следующее распределение скорости:

$$f(\tau) = \left(r/k \right)^{\frac{1}{n}}, \quad U_y = \frac{2n}{(1+2n)} \left(\frac{\Delta p}{2lk} \right)^{\frac{1}{2n}} \left[r^{\frac{2n+1}{2n}} - y^{\frac{2n+1}{2n}} \right]$$

Аналогично получаем выражение для определения расхода, потерь и коэффициента гидравлического трения

$$Q = \frac{2n\pi r^3}{6n+1} \left(\frac{\tau_r}{k} \right)^{\frac{1}{2n}}; \Delta p = \left[\frac{(6n+1)Q}{2n\pi} \right]^{2n} \frac{2lk}{r^{6n+1}}; \lambda = \left(\frac{6n+1}{2n} \right)^{2n} \frac{8k}{\rho g^{2(1-n)} r^{2n}}$$

Для определения применимости предлагаемой методики строилась зависимость $\lambda = f(Re')$ и сравнивалась с зависимостями, построенными по другим источникам при течении растворов полиэтиленоксида различной концентрации в трубе. Максимальное отклонение расчетных данных в пределах $Re' = 1000 - 6000$ составило менее 9%.

Рассмотренная математическая модель турбулентного движения неньютоновских жидкостей, подчиняющихся степенному реологическому закону, и полученные расчетные зависимости могут быть использованы для расчетов стационарных систем пожаротушения насосно-рукавных систем при работе в экстремальных условиях с использованием высокомолекулярных водорастворимых полимеров.

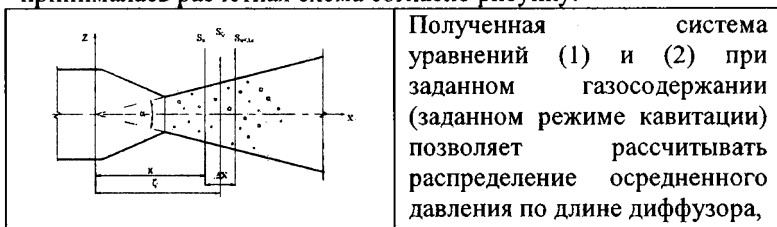
8. Уравнения движения кавитационного двухфазного потока в диффузоре пеносмесителя ПС-5

Пеносмеситель ПС-5 работает как эжектор-смеситель, смешивая и растворяя пенообразователи с рабочей жидкостью – водой. Качественное взаиморастворение указанных сред гарантирует эффект пенообразования с максимальной кратностью пены. Эффективное растворение, диспергирование и перемешивание может достигаться созданием в эжекторах-смесителях, выполненных по типу трубы Вентури (как, например, пеносмеситель ПС-5), кавитационного режима течения, замыкание которого происходит в выходном сечении диффузора. Поставленная задача требует методики определения гидродинамических параметров вдоль проточного тракта диффузора. С этой целью получены уравнения (1) и (2) осредненного одномерного двухфазного потока при неравномерном течении.

$\frac{dp}{dx} + \frac{p}{x} = \frac{1}{2} \rho_1 (1 - \varphi) (g - \vartheta_1 \frac{d\vartheta_1}{dx}) \quad (1)$	$\pi g^2 \frac{\alpha}{2} (1 - \varphi) \vartheta_1 \rho_1 x^2 = Q \quad (2)$
--	---

где: φ – газосодержание; ϑ_1 – скорости жидкой фазы; ρ_1 – плотности жидкости; p – давление в нормальных к оси Ox сечениях.

При выводе уравнений движения газо-жидкостной смеси принималась расчетная схема согласно рисунку:



т.е. рассчитывать параметры течения, обеспечивая максимальный эффект растворения пенообразователей.