

УДК 622.457.2

В.П. Сухоруков

СПОСОБ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ПОЖАРНО-ОРОСИТЕЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ВЗРЫВОМ ЗАРЯДА ВВ

ИФГП НАН Украины

Розглянуто питання підвищення безпеки робіт по транспортуванню по пожежно-зрошувальному трубопроводу заряду ВВ до міста його вибуху у аварійній виробки

Ключові слова: розгерметизація, пожежно-зрошувальний трубопровід, транспортування, рукав, вибух, контейнер, заряд

V.P. Suhoruckov

METHOD OF FIRE-SPRINKLING PIPELINE UNSEALING BY EXPLOSIVE CHARGE

The problem of increasing safety while transporting an explosive charge to explosion site via fire-sprinkler pipeline located in emergency working has been considered

Keywords: depressurisation, fire-sprinkling pipeline, transportation, hose, explosion, container, charge

При нарушении проветривания тупиковой выработки, например, в результате выгорания гибкого вентиляционного трубопровода на некоторой длине создаются условия неконтролируемого повышения концентрации метана, что при наличии очага горения обуславливает возможность его взрыва. В этих условиях возводятся взрывоустойчивую перемычку [1] в устье аварийной выработки, а при возможности затапливают ее водой, вследствие чего шахта имеет убытки.

Для сокращения срока накопления инертной атмосферы в аварийной тупиковой выработке авторы [2,3] предлагают осуществлять разгерметизацию пожарно-оросительного трубопровода безопасным взрывом заряда ВВ в метановоздушной среде [4]. Заряд ВВ транспортируется в контейнере с помощью гибкого рукава, который прокладывается с постоянной скоростью по пожарно-оросительному трубопроводу способом выворачивания наизнанку. Однако использование этой технологии сопряжено с высокой трудоемкостью постоянного контролирования места нахождения контейнера с зарядом ВВ внутри пожарно-оросительного трубопровода.

В настоящей работе по сравнению с известными [2,3] предлагается процессы дистанционной прокладки гибкого рукава и транспортирования заряда ВВ отделить друг от друга во времени и пространстве. Это, с одной стороны, по-

зволяет существенно увеличить скорость прокладки рукава по пожарно-оросительному трубопроводу, а с другой – повысить безопасность данной технологии. Последнее достигается за счет того, что по пожарно-оросительному трубопроводу одновременно с прокладкой рукава транспортируется блок, жестко закрепленный на его конце. Блок снабжен колесом, охваченным канатом, один конец которого жестко закреплен в начале пожарно-оросительного трубопровода, а другой – перемещается внутри рукава в результате вращения блока при взаимодействии со свободным концом каната. По завершении доставки блока к месту взрыва контейнера последний надежно закрепляют на канате, создают давление в рукаве, обеспечивающее его жесткость, и перемещают контейнер к месту взрыва. В процессе перемещения контейнера возможно его заклинивание, обусловленное зарастанием ржавчиной внутренней поверхности пожарно-оросительного трубопровода [5]. При заклинивании контейнера осуществляют реверсирование его направления движения.

Уравнение динамики переменной массы, описывающее процесс перемещения на расстояние L гибкого рукава сверху вниз по пожарно-оросительному трубопроводу (рис. 1,а), имеет вид

$$m_p x \frac{dV}{dt} + m_p V^2 = k S_p P - g m_p x f_1 \cos \alpha + g m_p x \sin \alpha + \\ + g \rho_v S_p x \sin \alpha - g \rho_v (S_T - S_p) x \sin \alpha, \quad (1)$$

где m_p – масса 1 пог.м рукава, кг/м; S_p, S_T – площадь поперечного сечения соответственно рукава и пожарно-оросительного трубопровода, м²; f_1 – коэффициент трения скольжения поверхности вывернутой части рукава о невывернутую; ρ_v – плотность воды, кг/м³; V, V_1 – скорости перемещения соответственно невывернутой части рукава внутри вывернутой наизнанку и торца этого рукава, м/с; P – давление на торцевую часть рукава, Па; x – переменная координата длины транспортирования контейнера, м; t – время, с; g – ускорение свободного падения, м/с²; k – коэффициент использования тяговой силы при выворачивании рукава наизнанку.

В правой части этого уравнения первое слагаемое представляет собой силу, под действием которой на торце невывернутая часть рукава выворачивается наизнанку; второе – силу трения скольжения перемещаемой невывернутой части о внутреннюю поверхность вывернутой; третье – силу веса перемещаемой невывернутой части рукава; четвертое – силы веса воды в рукаве и пятое – силу веса воды, выталкиваемой из пожарно-оросительного трубопровода в процессе перемещения рукава.

Решением уравнения (1) при соблюдении граничных условий $\tau = 0, x = 0, V = 0$ является выражение

$$V^2 m_p = k S_p P - \frac{2}{3} g m_p b_1 x, \quad (2)$$

$$b_1 = f_1 \cos \alpha - \left[1 + \rho_v \frac{(2 S_p - S_T)}{m_p} \right] \sin \alpha.$$

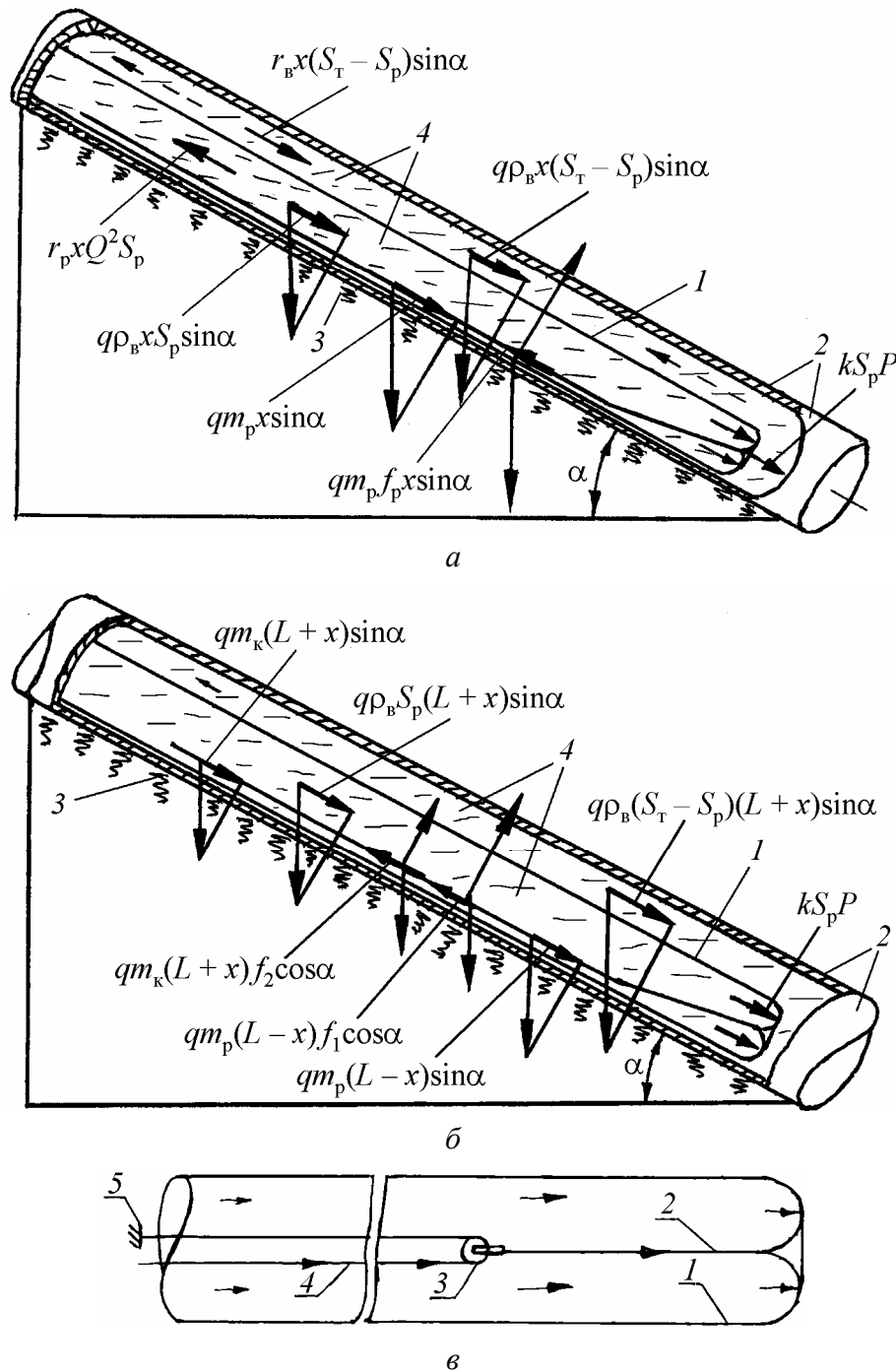


Рис. 1. Схемы сил, действующих на прокладываемый гибкий рукав (1), перемещающийся сверху вниз по пожарно-оросительному трубопроводу (2), расположенному на почве (3) и заполненному водой (4), соответственно при увеличении (а) и уменьшении (б) транспортируемой части рукава; в – схема транспортирования блока по пожарно-оросительному трубопроводу: 1 – рукав, 2 – транспортируемая часть рукава, 3 – блок, 4 – канатик, 5 – фиксатор

При этом из выражения (2) следует, что при выполнении граничного условия $x = L$ гибкий рукав будет проложен на длину L , равную половине расстояния до места разгерметизации пожарно-оросительного трубопровода. В этот момент на свободном конце гибкого рукава жестко закрепляется блок, охватываемый канатом, один конец которого жестко фиксируется, например, на пожарно-оросительном трубопроводе, а другой – перемещается внутри рукава.

Движение выворачиваемого наизнанку гибкого рукава по пожарно-оросительному трубопроводу (рис. 1) описывается уравнением динамики переменной массы

$$\begin{aligned} (m_p + m_k)(L - x) \frac{dV}{dt} - (m_p + m_k)V^2 = kS_p P - gm_p(L - x)f_1 \cos \alpha + \\ + gm_p(L - x)\sin \alpha + g\rho_v S_p(L + x)\sin \alpha - gm_k f_2(L + x)\cos \alpha + \\ + gm_k(L + x)\sin \alpha - g\rho_v(S_T - S_p)(L + x)\sin \alpha. \end{aligned} \quad (3)$$

В уравнении (3) пренебрегаем затратами энергии на вращение блока, его перемещение и преодоление выталкиваемой водой гидравлического сопротивления пространства, образованного внешней поверхностью рукава и внутренней пожарно-оросительного трубопровода.

Осуществлению перемещения рукава способствуют силы, возникающие при действии давления на торцевую его часть, а также силы веса перемещающейся не вывернутой наизнанку части рукава, 2 канатиков и массы воды, подаваемой насосом в рукав.

Противодействуют этому процессу силы трения-скольжения, перемещающейся массы невывернутой части рукава и канатика о вывернутый наизнанку рукав, а также масса воды, выталкиваемой прокладываемым рукавом из пожарно-оросительного трубопровода.

Решением уравнения (3) при соблюдении граничных условий $x = L$, $V = 0$, $P = P_k = \frac{2gm_k L}{S}$ и выполнении соответствующих преобразований является выражение

$$\begin{aligned} V^2 m_p (L - x)^2 = kS_p \left[P(L - x)x - \frac{2gm_k L}{S} L^2 \right] - \\ - \frac{2}{3} gm_p b_2 [3L^2 x - 3Lx^2 + x^3 - L^3] + \frac{2}{3} gm_p b_3 [3L^2 x - x^3 - 2L^3], \end{aligned} \quad (4)$$

где $b_2 = f_2 \cos \alpha - \sin \alpha$, $b_3 = \frac{m_k}{m_p}(f_2 \cos \alpha - \sin \alpha) + \frac{\rho_v(2S_p - S_T)}{m_p} \sin \alpha$.

Для осуществления рассматриваемой технологии необходимо найти условия, при которых масса транспортируемой невывернутой части рукава, увеличивающаяся по линейному закону и характеризующаяся зависимостью (2), будет уменьшаться по аналогичному закону, описываемому выражением (4). Определить эти условия можно, если воспользоваться выражением (2)

при $x = L$, $Q = Q_L$ и $P = P_L$, а также зависимостью (4) при $x = 0$, $Q = Q_L$ и $P = P_L - \frac{(m_p + 2m_k)Lg}{S_p}(b_2 + b_3)$. В результате получаем равенство

$$Q_L^2 \geq \frac{gLS_p H_1}{12(m_p + m_k)} - \frac{kS_p^3}{4(m_p + m_k)} P_L. \quad (5)$$

После соответствующих преобразований совместно с выражением (2) относительно P_L и Q_L получим зависимости

$$P_L \geq \frac{m_p g L}{3kS} \left[\frac{H_1 + 2b_8(m_p + m_k)}{2m_p + m_k} \right], \quad (6)$$

$$Q_L^2 \geq \frac{gLS_p^2}{12} \left[\frac{H_1 + 2(m_p + m_k)b_8}{2m_p + m_k} - 2b_8 \right], \quad (7)$$

где $H_1 = 3k(b_2 + b_3)(m_p + 2m_k) + 2(m_p b_2 + 2m_k b_3)$.

При реализации рассматриваемой технологии необходимо выбрать тип насоса, который может обеспечить подачу в прокладываемый рукав необходимого количества воды под соответствующим давлением. Для этого воспользуемся зависимостью, приведенной в работе [6]:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{2gm_p b_4}{(1-k)S_p} + \psi_1 r Q^2, \quad (8)$$

где $b_4 = f_1 \cos \alpha - \sin \alpha$, $\psi_1 = 1 + \frac{r_1}{r(1-k)}$, r и r_1 – удельное гидравлическое

сопротивление рукава и пространства между рукавом и внутренней поверхностью пожарно-оросительного трубопровода соответственно, Па·с²/м⁷.

Решение уравнения (8) возможно, если известны зависимости $Q = f(x)$ или $Q = \text{const}$. В нашем случае выполняется второй вариант, реализованный в условии (6). С учетом выражения (6) зависимость (7) принимает вид

$$P_H = \frac{2m_p g b_4}{(1-k)S_p} L + P_0 + \psi_1 r L Q^2. \quad (9)$$

На основании расчетов по выражениям (6) и (8) выбираем насос [7], который обеспечит прокладку рукава на заданную длину.

Таким образом, в результате проведенных аналитических исследований получены зависимости (5) и (6), определяющие условия перемещения рукава на 2-м этапе его движения по заполненному водой пожарно-оросительному трубопроводу, а также выражение (8), которое совместно с зависимостью (6) позволяет выбирать тип насоса для осуществления описанной технологии.

1. ДНАОП 1.1.30-4.01097. Устав ВГСЧ по организации и ведению горноспасательных работ. – К., 1997. – 453 с.
2. Сухоруков В.П. Параметры транспортирования заряда ВВ по пожарно-оросительному трубопроводу для его разгерметизации взрывом при ликвидации пожара в восстающей горной выработке // Пожежна безпека.– Збірник наукових праць. – 2004. – №4. – С. 142–147.
3. Сухоруков В.П. Параметры способа разгерметизации пожарно-оросительного трубопровода взрывом заряда ВВ при ликвидации пожара в тупиковой выработке // Фізико-технічні проблеми горного виробництва: сб. науч. тр. / НАН України, Інститут фізики горних процесів. – Вып. 8. – 2005. – С. 221–231.
4. Сухоруков В.П., Песоцкий М.К. Экспериментальные исследования разрушения пожарно-оросительного трубопровода взрывом заряда ВВ в метановоздушной среде // Фізико-технічні проблеми горного виробництва: сб. науч. тр. / НАН України, Інститут фізики горних процесів. – Вып. 7. – 2004. – С. 195–203.
5. Ющенко А.Ю. Оптимальные сроки службы шахтных трубопроводов водоотлива и водоснабжения до их очистки // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 1999. – С. 46–50.
6. Сухоруков В.П. Изменение энергии воздушного потока при выворачивании наизнанку гибкого трубопровода // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2004. – С. 152–160.
7. Каталог насосов. – Тула: ОАО «Ясногорский машзавод», 2003. – 76 с.

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2009 года