

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОРОТКИХ ЭРЛИФТОВ**

Малеев В.Б., канд. техн. наук, доц.,  
Малыгин С.С., канд. техн. наук, доц., Холоша А.С., аспирант,  
Донецкий государственный технический университет

На основании баланса мощности, относительного к  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  транспортируемой жидкости коротким эрлифтом, получены системы уравнений для определения внутреннего диаметра подъемной трубы и подачи эрлифтной установки при различных геометрических погружениях смесителя

В коротких эрлифтах с квадратным сечением подъемной трубы отсутствует вращательное движение газожидкостной смеси [1]. Движение же ее вертикально вверх осуществляется за счет энергии расширения вводимого в трубу сжатого воздуха. При этом подводимый газ расширяется от давления перед смесителем до давления в газоотделителе.

Полные затраты мощности на подъем  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  жидкости в эрлифте можно определить по зависимости:

$$N = pq \ln \left( 1 + \frac{\rho gh}{p} \right), \quad (1)$$

где  $p$  – давление на выходе из подъемной трубы, близкое к атмосферному  $p_a$ , Па;  $h$  – глубина погружения смесителя эрлифта, м.

Эта энергия расходуется в движущемся в восходящем направлении газожидкостном потоке на разгон жидкостной фазы  $N'_{\text{ин}}$ , на преодоление гидравлического сопротивления подъемной трубы  $N_{\text{дл}}$ , на преодоление гидравлических сопротивлений смесителя  $N_{\text{см}}$  и газоотделителя  $N_{\text{от}}$ , на относительное движение фаз  $N_o$ , а также на подъем жидкости с нижнего уровня на верхний  $N_{\text{п}}$ . Из всех перечисленных энергий только затраты на подъем жидкости будут полезными, остальные относятся к потерям.

С учетом вышесказанного, уравнение баланса мощности, отнесенного к  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  транспортируемой жидкости, можно записать в следующем виде:

$$N = N_{\text{п.}} + N'_{\text{ин}} + N_{\text{дл}} + N_{\text{см}} + N_{\text{от}} + N_o \quad (2)$$

Как показали многочисленные исследования коротких эрлифтов, проведенные ранее нами в ДПИ, потери мощности на разгон

жидкой фазы составляют не более 3%, а на преодоление гидравлического сопротивления подъемной трубы - не более 2% от затрачиваемой. Поэтому их можно исключить из уравнения (1) с достаточной точностью для подсчетов. Тогда уравнение баланса мощности короткого эрлифта примет следующий вид:

$$N = N_{\text{п.}} + N_{\text{см}} + N_{\text{от}} + N_o \quad (3)$$

Все виды затрат мощности, кроме затрат на относительное движение фаз, имеют место также при движении однородных жидкостей и газов. Поэтому их можно определить по известным зависимостям, учитывая сжимаемость и разнофазность. Полезной мощностью в эрлифте, как и в любом другом виде насосов, будем считать ту, которая необходима для поднятия жидкости с отметки ее свободной поверхности в откачиваемой емкости на отметки верхнего конца подъемной трубы, располагаемого в газоотделителе. В соответствии с этим полезная мощность, затрачиваемая на подъем  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  жидкости, определяется по следующей зависимости:

$$N_{\text{п}} = \rho \cdot g \cdot H = \rho \cdot g \cdot h \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha}, \quad (4)$$

где  $\rho$  - плотность поднимаемой жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ;

$g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$  ;

$H$  - высота подъема жидкости,  $\text{м}$  ;

$h$  - глубина погружения смесителя эрлифта,  $\text{м}$  ;

$\alpha$  - относительное погружение эрлифта, определяемое по зависимости:  $\alpha = \frac{h}{H = h}$  ;

С точки зрения гидравлики любой эрлифт представляет собой простой трубопровод. При постоянном сечении его подъемной трубы газожидкостной смеси приходится преодолевать только два местных сопротивления - смеситель и газоотделитель. Потери мощности в смесителе и газоотделителе эрлифта, можно определить по известной формуле Вейсбаха для однородной текучей среды; которая для газожидкостной смеси примет следующий вид:

$$N_{\text{м}} = \rho_{\text{см}} \cdot \xi \frac{V_{\text{см}}^2}{2}, \quad (5)$$

где  $\rho_{\text{см}}$  - плотность жидкостной смеси,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ;

$\xi$  - коэффициент местного сопротивления;

$V_{\text{см}}$  - средняя скорость газожидкостной смеси,  $\text{м}/\text{с}$ .

Сложность определения потерь в смесителе и газоотделителе эрлифта заключается в том, что как показывают экспериментальные исследования ряда авторов [2,3,4], коэффициенты их местных сопротивлений зависят не только от их вида, но и от параметров движущейся через них газожидкостной смеси.

На основании экспериментальных исследований, проведенных в Донецком политехническом институте [2], получена зависимость для определения коэффициента местного сопротивления смесителя эрлифта, имеющая следующий вид:

$$\xi_{см} = 0,074q^2 - 1,3q + 12,9, \quad (6)$$

Из зависимости (6) видно, что основным фактором, влияющим на величину коэффициента местного сопротивления смесителя эрлифта является газосодержания смеси, определяемое удельным расходом  $q$ .

Подставив значение коэффициента местного сопротивления смесителя в (5), получим зависимость для определения потерь мощности при прохождении через него  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  жидкости:

$$N_{см} = \rho_{см} \frac{V_{см}^2}{2} (0,074q^2 - 1,3q + 12,9), \quad (7)$$

На основании исследований – [5] с использованием зависимостей, полученных другими авторами [1,2], коэффициент местного сопротивления воздухоотделителя можно определить по следующей зависимости:

$$\xi_{от} = 1,2 \cdot (1+q). \quad (8)$$

С учетом этого выражения зависимость для определения потерь мощности в отделителе при прохождении через него  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  жидкости примет вид:

$$N_{от} = 1,2\rho_{см.о} \frac{V_{см.о}^2}{2} (1+q), \quad (9)$$

Затраты мощности на относительное движение фаз имеет место только при движении многофазных сред. Они обусловлены процессом передачи энергии от энергоносящей (в эрлифте – газообразная фаза) к энергопотребляющей фазе (в эрлифте – поднимаемая жидкость). Этот процесс сложный и до настоящего времени недостаточно изученный. Не вдаваясь в физическую сущность, ориентировочно затраты мощности на относительное движение фаз можно определить по экспериментальным данным из уравнения баланса мощности (3)

$$N_o = N - N_{п} - N_{см} - N_{от}, \quad (10)$$

которое после подстановки значений отдельных слагаемых из (1), (4), (7) и (9) примет вид:

$$N_o = pq \ln \left( 1 + \frac{\rho gh}{p} \right) - \rho gh \frac{1-\alpha}{\alpha} - \rho_{cm} \frac{V_{cm}^2}{2} (0,074q^2 - 1,3q + 12,9) - 1,2\rho_{cm} \frac{V_{cm.o}^2}{2} (1+q), \quad (11)$$

Выразив плотность смеси через плотность жидкой фазы, а скорость смеси через подачу эрлифта и диаметр подъемной трубы, получим:

$$N_o = p_a q \ln \left( 1 + \frac{\rho gh}{P_a} \right) - \rho gh \frac{1-\alpha}{\alpha} - 0,81 \frac{\rho Q^2}{d^4} \left( 1 + \frac{q}{1 + \frac{\rho gh}{P_a}} \right) + (0,074q^2 - 1,3q + 12,9) - 0,972 \frac{\rho Q^2}{d^4} (1+q)^2, \quad (12)$$

Считаем, что затраты мощности на относительное движение фаз зависят от скорости напора газожидкостной смеси и коэффициента относительного движения -  $K_o$ , определяемого на основании экспериментальных данных, т.е.:

$$N_o = K_o \rho_c \frac{V_c^2}{2}, \quad (13)$$

Так как скорость движения и плотность газожидкостной смеси изменяются по высоте подъемной трубы, принимаем их значения в сечении на ее середине, определяемые через плотность жидкой фазы и подачу эрлифта. После их подставки в (13) получим:

$$N_o = K_o \rho \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4} \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / (2p_a)} \right), \quad (14)$$

откуда

$$K_o = 1,234 \frac{N_o d^4}{\rho Q^2 \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / (2p_a)} \right)}, \quad (15)$$

Допустив, что коэффициент относительного движения  $K_o$  зависит от диаметра подъемной трубы -  $d$ , глубины погружения -  $h$  и относительного погружения -  $\alpha$ , обработали результаты испытаний 25 коротких эрлифтов, представив их в виде нескольких корреляцион-

ных полей. Наиболее кучно расчетные точки располагаются в системе координат  $K_o \frac{d^{0,2} \alpha^{0,2}}{h_{0,4}} \rightarrow \alpha$ . Данное корреляционное поле представлено на рисунке 1.

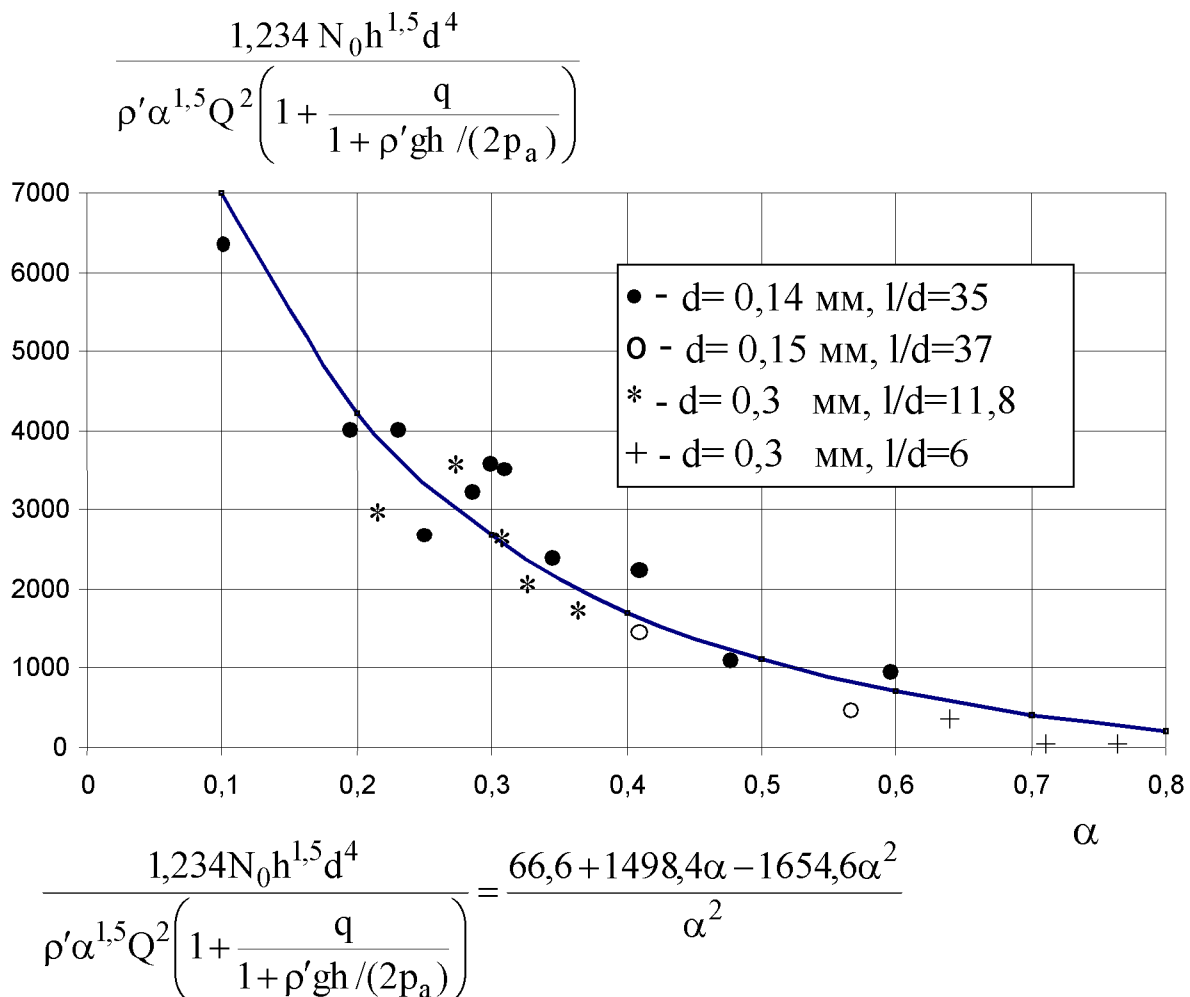


Рисунок 1 – К вопросу определения мощности, затрачиваемой на относительное движение фаз в подъемной трубе короткого эрлифта

Обработкой на ЭВМ этого корреляционного поля получена функциональная зависимость:

$$K_o \frac{h^{1,5}}{\alpha^{1,5}} = \frac{66,6 + 1498,6 \alpha - 1654,6 \alpha^2}{\alpha^2}, \quad (16)$$

или 
$$K_o h^{1,5} \alpha^{0,5} = 66,6 + 1498,6 \alpha - 1654,6 \alpha^2, \quad (17)$$

Подставив значение  $K_o$  из (17) в (14), и сделав необходимые преобразования, получим зависимость для определения мощности.

затрачиваемой на относительное движение фаз в подъемной трубе короткого эрлифта:

$$N_o = 0,81 \frac{\rho Q_2}{h^{1,5} d^4 \alpha^{0,5}} \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / (2p_a)} \right) (66,6 + 1498,4\alpha - 1654,6\alpha^2) \quad (18)$$

Теперь все отдельные слагаемые баланса мощности короткого эрлифта известны исходное уравнение (3) примет вид:

$$\begin{aligned} p_a q \ln \left( 1 + \frac{\rho gh}{p_a} \right) &= \rho gh \frac{1 - \alpha}{\alpha} + 0,81 \frac{\rho Q^2}{d^4} \left( 1 + \frac{q}{1 + / p_a} \right) \times \\ &\times (0,074q^2 - 1,3q + 12,9) + 0,972 \frac{\rho Q^2}{d^4} (1 + q)^2 + \\ &+ 0,81 \frac{\rho Q^2}{h^{1,5} d^4 \alpha^{0,5}} \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / (2p_a)} \right) (66,6 + 1498,4\alpha - 1654, \alpha^2), \end{aligned} \quad (19)$$

Полученное уравнение можно использовать для расчета коротких эрлифтов. При этом заданными являются подача  $Q$ , глубина погружения смесителя  $h$ , высота подъема жидкости  $H$ . Определить необходимо удельный расход  $q$  и внутренний диаметр подъемной трубы  $d$ .

С достаточной для инженерных расчетов точностью удельный расход газа в коротких эрлифтах можно определить по полученным нами экспериментальным зависимостям:

$$\text{при } h \leq 1\text{ м} \quad - q = (hd\alpha)^{0,4} e^{28,89\alpha^2 - 28,12\alpha + 9,47}, \quad (20)$$

$$\text{при } h \geq 1\text{ м} \quad - q = \frac{hd^{0,2} e^{1,3\alpha^2 - 4,6\alpha} + 12,1}{P_a \alpha \ln(h)^{0,4} \ln \left( 1 + \frac{\rho gh}{P_a} \right)}, \quad (21)$$

Так как внутренний диаметр подъемной трубы входит в зависимости для определения удельного расхода и в уравнение баланса мощности, то для его определения необходимо решать систему двух уравнений.

При  $h \leq 1$  м она имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned}
 q &= (hd\alpha)^{0,4} e^{28,89\alpha^2 + 9,47} \\
 d^4 &= \frac{\rho Q^2 \left[ 0,81 \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / p_a} \right) (0,074q^2 - 1,3q + 12,9) + 0,972(1 + q)^2 \right]}{p_a q \ln(1 + \rho gh / p_a) - \rho gh(1 - \alpha) / \alpha} + \\
 &+ \frac{0,81 \frac{\rho Q^2}{h^{1,5} \alpha^{0,5}} \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / (2p_a)} \right) (66,6 + 1498,4\alpha - 1654,6\alpha^2)}{p_a q \ln(1 + \rho gh / (p_a)) - \rho gh(1 - \alpha) / \alpha}.
 \end{aligned} \right.$$

а при  $h > 1$  м:

$$\left\{ \begin{aligned}
 q &= \frac{hd^{0,2} e^{1,3\alpha^2 - 4,6\alpha + 12,1}}{p_a \alpha (\ln h)^{0,4} \ln(1 + \rho gh / p_a)} \\
 d^4 &= \frac{\rho Q^2 \left[ 0,81 \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / p_a} \right) (0,074q^2 - 1,3q + 12,9) + 0,972(1 + q)^2 \right]}{p_a q \ln(1 + \rho gh / p_a) - \rho gh \cdot (1 - \alpha) / \alpha} + \\
 &+ \frac{0,81 \frac{\rho Q^2}{h^{1,5} \alpha^{0,5}} \left( 1 + \frac{q}{1 + \rho gh / (2p_a)} \right) (66,6 + 1498,4\alpha - 1654,6\alpha^2)}{p_a q \ln(1 + \rho gh / p_a) - \rho gh \cdot (1 - \alpha) / \alpha}
 \end{aligned} \right.$$

Полученное при решении приведенных выше систем уравнений значение внутреннего диаметра округляется до ближайшего стандартного, для которого уточняются значения удельного расхода и подачи короткого эрлифта [1].

#### Список источников

- 1 Малыгин С. С., Малеев В. Б. К вопросу обоснования рациональной формы сечения подъемной трубы короткого эрлифта. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 16, серія гірничо-електромеханічна.- Донецьк: ДонДТУ,- 2000, с 198-203
- 2 Гейер В. Г., Шевченко В. Ф. Влияние конструкции смесителя на КПД эрлифта. М. ЦНИЭИУголь.- 1974
- 3 Кутателадзе С. С., Стырикович М. А. Гидравлика газожидкостных систем. М-Л. Госэнергоиздат.- 1958.
- 4 Мамаев В. А. и др. Гидродинамика газожидкостных смесей в трубах. М. Недра. 1969
- 5 Малыгин С. С. Расчет гидротранспортных эрлифтов малой длины. В сб. РМПИ, К, Техніка, 1970, № 20.