

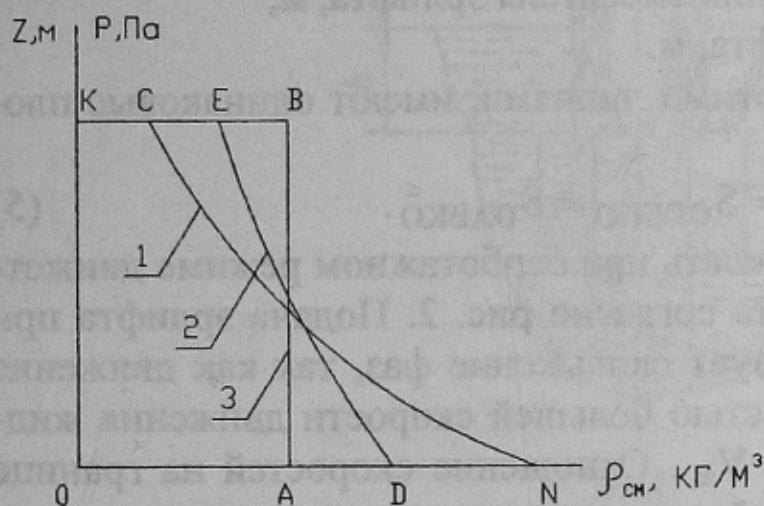
## РАСЧЕТ БАРБОТАЖНОГО РЕЖИМА ЭРЛИФТА

Логвинов Н.Г. докт. тех. наук, проф., Надеев Е.И. инж.,  
Калиниченко В.В. аспирант, Ганза А.И. аспирант,  
Донецкий национальный технический университет

*Определена зависимость распределения давления вдоль подъемной трубы эрлифта.*

*The dependence of pressure distribution along an airlift hoist pipe is defined in this paper.*

Для определения начального момента трогания эрлифта необходимо выяснить физическую суть явлений, происходящих при барботажном режиме работы эрлифта. Экспериментально и теоретически установлено, что закон изменения плотности газожидкостной смеси в эрлифте может изменяться согласно графикам на рис. 1.



Кривая 1 получена [3] и соответствуют уравнению:

$$\rho_{см} = \rho \frac{1}{1 + k \cdot q_0 \frac{P_0}{P}}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$k$  – коэффициент скольжения фаз;

$q_0$  – удельный расход воздуха;

$P_0$  – атмосферное давление, Па;

$P$  – текущее давление абсолютное в рассматриваемом сечении подъемной трубы эрлифта, Па.

Зависимость 2 определена экспериментально [1] и имеет уравнение:

$$\rho_{\text{см}} = \rho \cdot \frac{1 + (1 - A) \frac{P_0}{P} q_0}{1 + q_0 \frac{P_0}{P}}, \quad (2)$$

где  $A$  – эмпирический безразмерный коэффициент, лежащий в пределах:  $0,83 \leq A \leq 0,88$ .

Вертикальная прямая 3 соответствует среднему значению плотности смеси, и ее уравнение теоретически определено на кафедре "Горной механики" ДонНТУ и имеет вид:

$$\rho_{\text{ср.см.}} = \alpha \cdot \rho, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – относительное погружение эрлифта, которое определяется уравнением:

$$\alpha = \frac{h}{H + h}, \quad (4)$$

где  $h$  – глубина погружения смесителя эрлифта, м;

$H$  – высота подачи эрлифта, м.

Фигуры, образованные этими линиями, имеют одинаковые площади:

$$S_{\text{ОНСКО}} = S_{\text{ОДЕКО}} = S_{\text{ОАВКО}}. \quad (5)$$

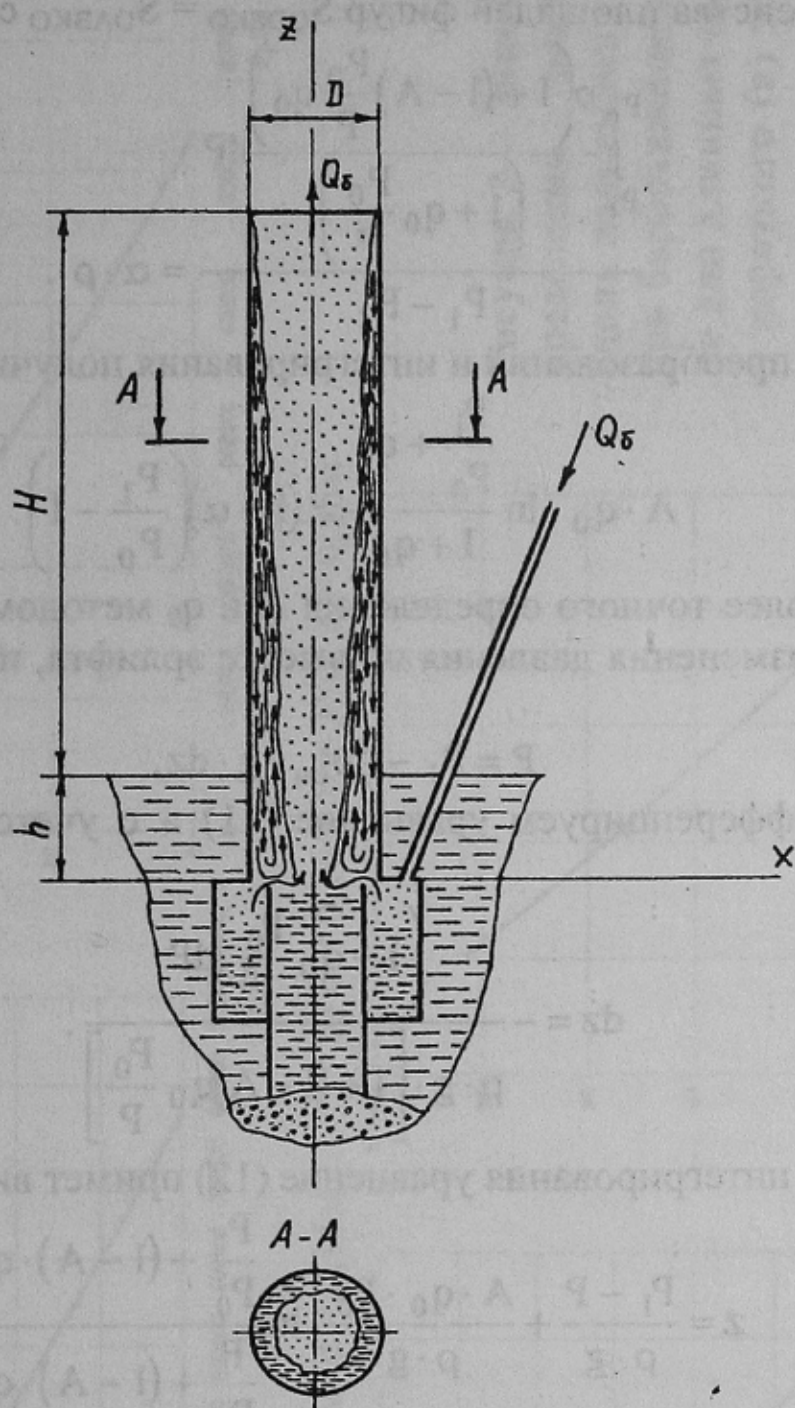
В принятой модели жидкость при барботажном режиме движется в подъемной трубе эрлифта согласно рис. 2. Подача эрлифта при этом равна нулю, но существует скольжение фаз, так как движение воздуха происходит со скоростью большей скорости движения жидкости до устья эрлифта  $V_r > V_{\text{ж}}$ . Отношение скоростей на границе раздела фаз представляет собой скольжение:

$$k = \frac{V_{\text{ж}}}{V_r}. \quad (6)$$

Из равенства площадей фигур  $S_{\text{ОНСКО}} = S_{\text{ОАВКО}}$  следует:

$$\frac{\int_{P_1}^{P_0} \frac{\rho \cdot dP}{\left(1 + k \cdot q_0 \frac{P_0}{P}\right)}}{P_2 - P_1} = \alpha \cdot \rho, \quad (7)$$

После интегрирования и преобразования уравнения (7) получим:



$$\kappa \cdot q_0 \cdot \ln \frac{P_1 + \kappa \cdot q_0}{1 + \kappa \cdot q_0} = (1 - \alpha) \left( \frac{P_1}{P_0} - 1 \right) \quad (8)$$

Методом итераций определяем значение  $kq_0$  для различных эрлифтов [2] и сносим в табл. 1.

Из равенства площадей фигур  $S_{ODEKO} = S_{OABKO}$  следует:

$$\frac{\int_{P_1}^{P_0} \rho \left( 1 + (1-A) \frac{P_0}{P} q_0 \right) dP}{P_1 - P_2} = \alpha \cdot \rho. \quad (9)$$

После преобразований и интегрирования получим:

$$A \cdot q_0 \cdot \ln \frac{\frac{P_1}{P_0} + q_0}{1 + q_0} = (1 - \alpha) \left( \frac{P_1}{P_0} - 1 \right). \quad (10)$$

Для более точного определения  $A$  и  $q_0$  методом итераций выясним закон изменения давления по высоте эрлифта, пользуясь уравнением (2):

$$P = P_1 - \int \rho_{\text{см}} \cdot g \cdot dz. \quad (11)$$

Продифференцируем уравнение (11) и с учетом уравнения (2) получим:

$$dz = - \frac{\left( 1 + q_0 \frac{P_0}{P} \right) dP}{\rho \cdot g \cdot \left[ 1 + (1-A) q_0 \frac{P_0}{P} \right]}. \quad (12)$$

После интегрирования уравнение (12) примет вид:

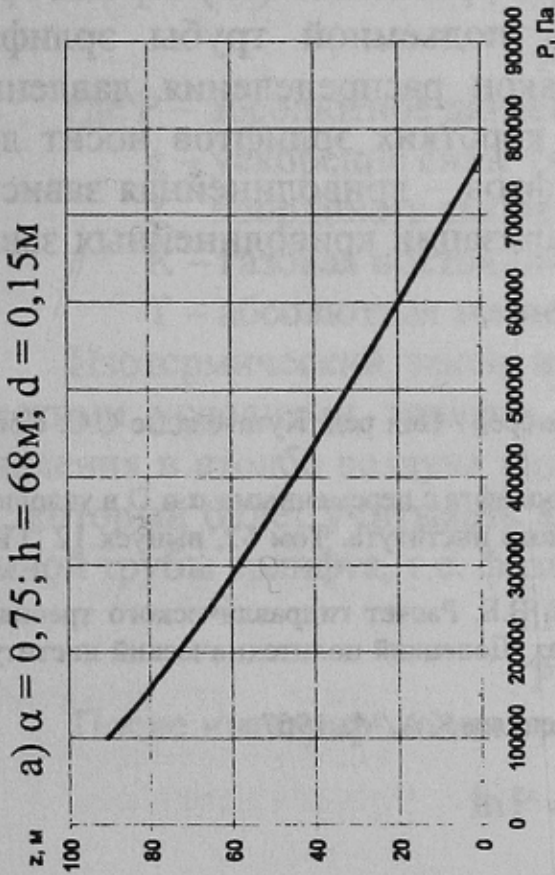
$$z = \frac{P_1 - P}{\rho \cdot g} + \frac{A \cdot q_0 \cdot P_0}{\rho \cdot g} \cdot \ln \frac{\frac{P_1}{P_0} + (1-A) \cdot q_0}{\frac{P}{P_0} + (1-A) \cdot q_0}. \quad (13)$$

При  $z = h + H$  и  $P = P_0$  следует:

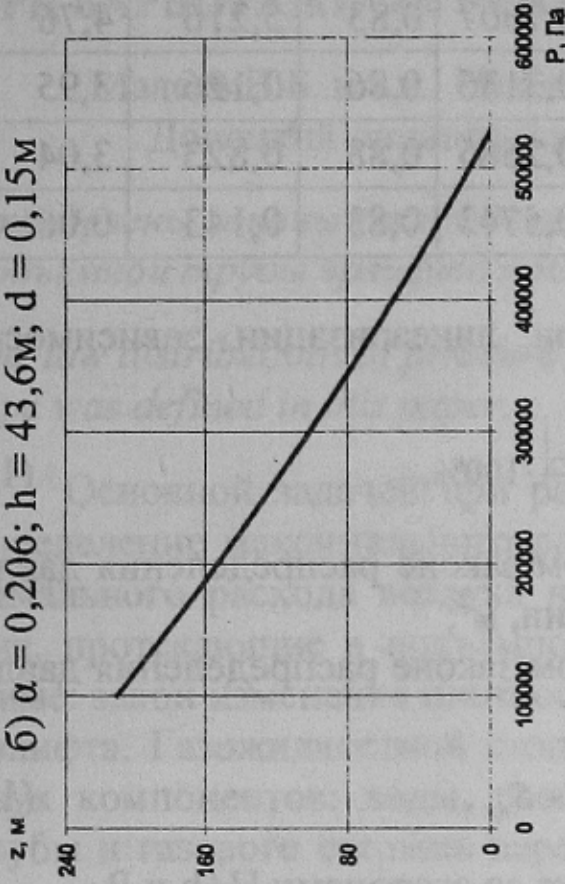
$$H = A \cdot q_0 \cdot \frac{P_0}{\rho \cdot g} \cdot \ln \frac{\frac{P_1}{P_0} + (1-A) \cdot q_0}{1 + (1-A) \cdot q_0}. \quad (14)$$

Решая совместно (10) и (14) определяем значения  $q_0$  и  $A$  при наибольшей сходимости по высоте  $H$  подачи эрлифта (экспериментальные данные по [2]). Данные расчета снесены в табл. 1.

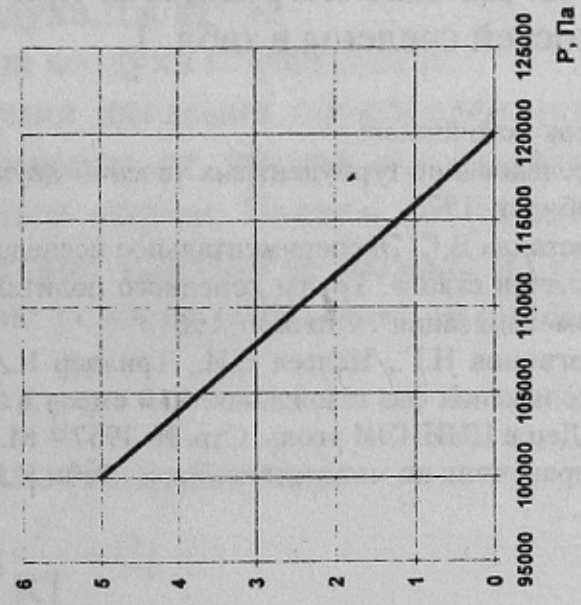
а)  $\alpha = 0,75$ ;  $h = 68\text{м}$ ;  $d = 0,15\text{м}$



б)  $\alpha = 0,206$ ;  $h = 43,6\text{м}$ ;  $d = 0,15\text{м}$



в)  $\alpha = 0,4$ ;  $h = 2\text{м}$ ;  $d = 0,15\text{м}$



г)  $\alpha = 0,165$ ;  $h = 35\text{м}$ ;  $d = 0,15\text{м}$

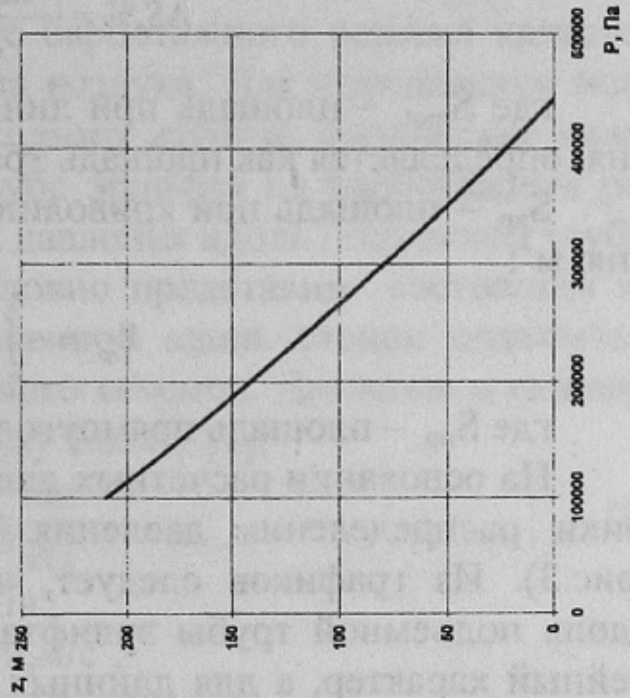


Рисунок 3 – Закон распределения давления вдоль подъемной трубы при барботажном режиме для длинных (а, б, г) и короткого (в) эрлиф-ТОВ

Таблица 1 - Результаты расчета барботажного режима

$\alpha$	h, м	$q_0$	$kq_0$	$k$	A	$\Delta H, \%$	$\Delta S, \%$
0,75	68,0	1,5701	1,1944	0,7607	0,83	5,216	4,76
0,206	43,6	37,3042	11,699	0,3136	0,86	0,126	3,95
0,165	35,0	50,0653	13,4398	0,2685	0,88	0,823	3,04
0,4	2,0	2,87	1,6482	0,5743	0,83	0,143	0,06

Относительная погрешность при линеаризации зависимости  $P=f(z)$  определяется:

$$\Delta S, \% = \frac{|S_{\text{лин.}} - S_{\text{кр.}}|}{S_{\text{кр.}}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где  $S_{\text{лин.}}$  – площадь при линейном законе распределения давления, определяется как площадь трапеции,  $\text{м}^2$ ;

$S_{\text{кр.}}$  – площадь при криволинейном законе распределения давления,  $\text{м}^2$ :

$$S_{\text{кр.}} = - \int_{P_1}^{P_0} z \cdot dP + S_{\text{пр.}}, \quad (16)$$

где  $S_{\text{пр.}}$  – площадь прямоугольника со сторонами  $H+h$  и  $P_0$ .

На основании расчетных данных по уравнению (13) строим графики распределения давления вдоль подъемной трубы эрлифта (рис.3). Из графиков следует, что закон распределения давления вдоль подъемной трубы эрлифта для коротких эрлифтов носит линейный характер, а для длинных эрлифтов – криволинейная зависимость. Данные погрешности при линеаризации криволинейных зависимостей сведены в табл. 1.

#### Список источников:

1. Исследование турбулентных течений двухфазных сред / Под ред. Кутателадзе С.С. Новосибирск, 1973.
2. Костанда В.С. Экспериментальное исследование эрлифта с переменными  $\alpha$  и  $D$  в условиях откачки ствола. Труды донецкого политехнического института. Том 62, выпуск 12 "Гидромеханизация". Сталино, 1961.
3. Логвинов Н.Г., Надеев Е.И., Триллер Е.А., Гого В.Б. Расчет гидравлического трения и скольжения фаз газожидкостной смеси в эрлифтах. Донецкий политехнический институт. – Деп в ЦНИИЭИ уголь. Стр. № 3957 – М., 1987.
4. Справочник по математике. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. М., 1967 г.