

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ ПРИ БАРБОТАЖНОМ РЕЖИМЕ В ЭРЛИФТЕ.

Малеєв В.Б. к.т.н., Надєєв Е.И. инж., Удовєнко С.А. асп.,  
Донецкий национальный технический университет

*Определены законы распределения давления и плотности смеси вдоль подъемной трубы эрлифта при барботажном режиме.*

*The law distributions of pressure and density of mixture along airlifts hoist pipe was defined in this paper.*

Основной задачей при расчёте барботажного режима является определение максимального расхода воздуха. Для определения максимального расхода воздуха необходимо изучить физические явления, протекающие в подъемной трубе эрлифта на барботажном режиме: закон изменения плотности и давления вдоль подъемной трубы эрлифта. Газожидкостной столб условно представим состоящим из двух компонентов: воды, расположенной вдоль стенок подъемной трубы и газового стержня переменного сечения. Давление в газовом стержне меняется по изотермическому закону [1]:

$$\frac{dP}{P} = -g \frac{dz}{RT}, \quad (1)$$

где  $P$  – абсолютное давление, Па;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$z$  – координата выбранного сечения, м;

$R$  – газовая постоянная воздуха, Дж/кг<sup>0</sup>К;

$T$  – абсолютная температура воздуха в эрлифте, <sup>0</sup>К.

Изотермический закон изменения давления обусловлен техническими условиями эрлифта, отличными от закона распределения давления в столбе воздуха над земным шаром. Введем коэффициент  $A$ , который будет учитывать физические условия на выходе из подъемной трубы эрлифта, т.е. физические условия окружающей среды:

$$\frac{dP}{P} = -Ag \frac{dz}{RT} \quad (2)$$

После интегрирования уравнение (2) примет вид

$$\ln P = -Ag \frac{z}{RT} + C_1 \quad (3)$$

Подставляя начальные значения параметров в смесителе  $z = 0$ ,  $P = P_1$  и конечные – в воздухоотделителе  $z = H+h$ ,  $P = P_0$  получаем значение коэффициента  $A$  и постоянной интегрирования  $C_1$ :

$$C_1 = \ln P_1; \quad A = -\frac{\ln \frac{P_0}{P_1}}{g \frac{h+H}{RT}} \quad (4)$$

где  $h$  – глубина погружения смесителя, м;

$H$  – высота подачи эрлифта, м;

$P_0$  – атмосферное давление, Па;

$P_1$  – абсолютное давление в смесителе, Па.

После подстановки (4) в (3) и потенцирования получаем уравнение закона изменения давления в подъемной трубе эрлифта  $P$ :

$$P = P_1 \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{z}{H+h}} \quad (5)$$

Выясним закон изменения плотности газожидкостной смеси вдоль подъемной трубы.

На элементе высотой  $dz$  давление уменьшается на величину  $dP$ :

$$dP = -\rho_{см} g dz \quad (6)$$

где  $\rho_{см}$  – плотность смеси в подъемной трубе эрлифта,  $\text{кг/м}^3$ ;

Уравнение (6) перепишем в виде:

$$\rho_{см} = -\frac{dP}{g dz} \quad (7)$$

Решая совместно (5) и (7) получим уравнение изменения величины плотности смеси вдоль подъемной трубы:

$$\rho_{см} = \frac{P_1 \ln \frac{P_1}{P_0} \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{z}{H+h}}}{g(h+H)} \quad (8)$$

Графики изменения давления и плотности смеси вдоль подъемной трубы длинного эрлифта представлены на рис.1, короткого эрлифта – на рис.2

Правильность выполненного решения проверим через значение средней плотности смеси, полученной в научно-исследовательских работах кафедры "Горной механики" ДонНТУ, которая имеет вид

$$\rho_{\text{cp}} = \alpha\rho = \rho \cdot \frac{h}{H+h} \quad (9)$$

где  $\alpha$  - относительное погружение эрлифта;  
 $\rho$  - плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ .

Для этого определим среднее значение плотности смеси используя выражение (8):

$$\rho_{\text{cp}} = \frac{\int_0^{H+h} \rho_{\text{см}} dz}{h+H} = \rho \frac{h}{H+h} = \alpha\rho, \quad (10)$$

что подтверждается уравнением (9).

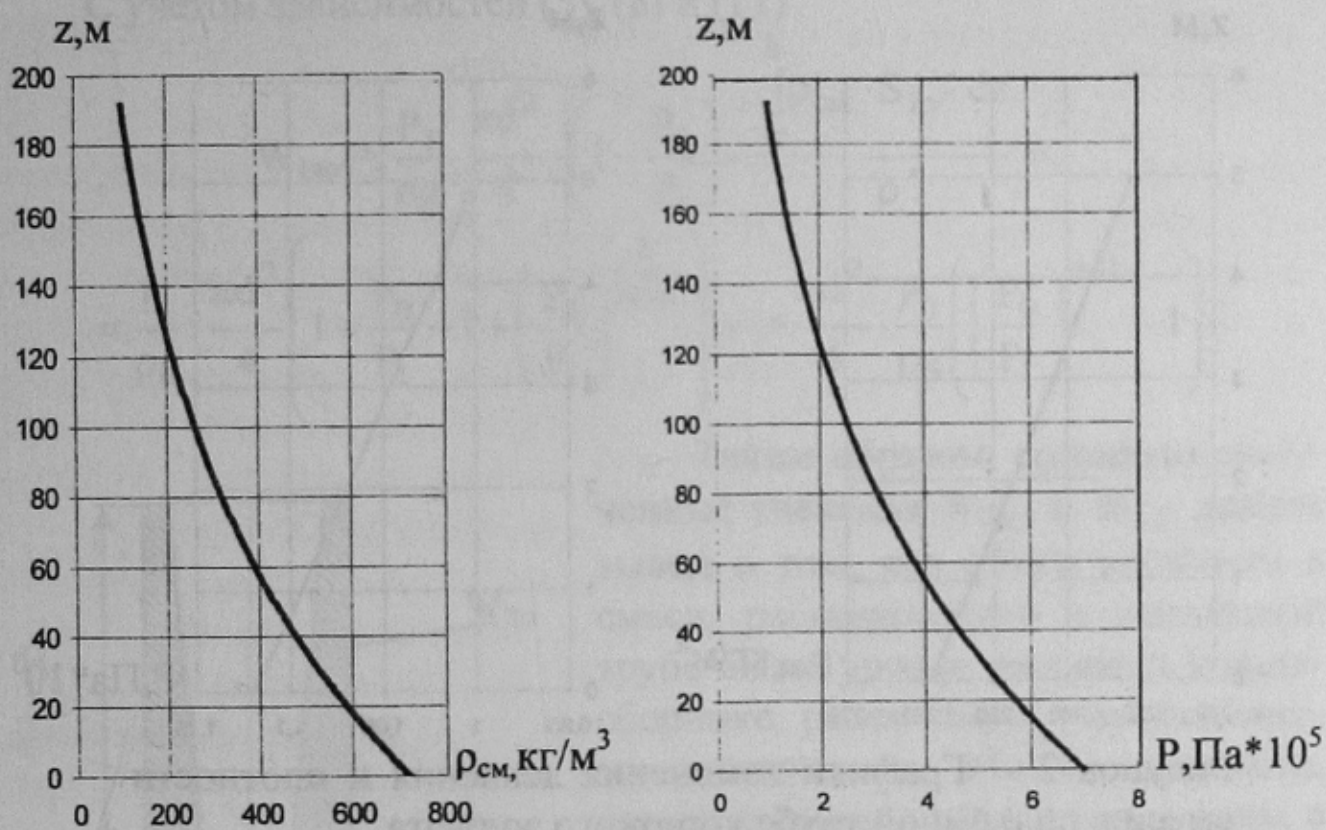


Рисунок 1 - Графики изменения давления и плотности смеси в подъемной трубе длинного эрлифта

Установим массу жидкости находящейся в подъемной трубе эрлифта по выражению

$$m_{\text{ж}} = \frac{\pi d^2}{4} \int_0^{H+h} \rho_{\text{см}} dz \quad (11)$$

$$m_{ж} = \int_0^{H+h} \rho_{см} S_{тр} dz = \int_0^{H+h} \frac{P_1 \ln \frac{P_1}{P_0} \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{z}{H+h}}}{g(H+h)} \cdot \frac{\pi d^2}{4} dz =$$

$$= \frac{P_1}{g} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left( 1 - \frac{P_0}{P_1} \right) = \left( \frac{P_0 + \rho g h}{g} - \frac{P_0}{g} \right) \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \rho h \frac{\pi d^2}{4} .,$$

где  $d$  – диаметр проходного сечения трубы, м.

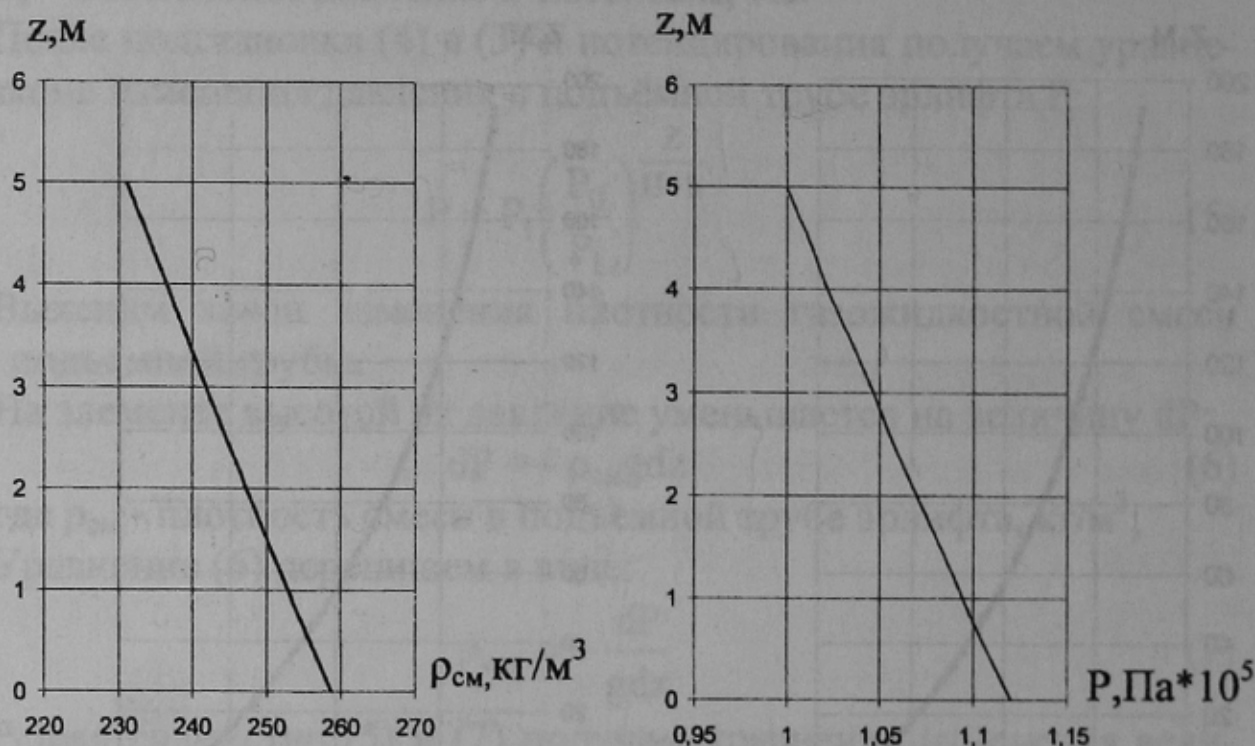


Рисунок 2 - Графики изменения давления и плотности смеси в подъёмной трубе короткого эрлифта

Таким образом, уравнения (10) и (11) подтверждают закон распределения давления и плотности смеси вдоль подъёмной трубы эрлифта при барботажном режиме.

Определим объём жидкости  $W_{2ж}$ , находящейся в смеси на участке трубы на высоте от  $h$  до  $H+h$  (рис.3) при барботажном режиме:

$$W_{2ж} = \frac{\int_h^{H+h} \rho_{см} \cdot S_{тр} dz}{\rho} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{P_1}{g} \cdot \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{z}{H+h}} \Bigg|_{H+h}^h =$$

$$= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{P_0}{\rho g} \cdot \left( \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\alpha-1} - 1 \right).$$

Определим объём воздуха  $W_{\text{воз}}$ , находящегося в подъёмной трубе на участке от 0 до  $h$ .

$$W_{\text{воз}} = W_{\text{общ}} - W_{\text{лж}} \tag{12}$$

где  $W_{\text{общ}}$  – объём, занимаемый столбом жидкости высотой  $h$ , при отсутствии подачи воздуха,  $\text{м}^3$ ;

$W_{\text{лж}}$  – объём жидкости, содержащейся в смеси, заключённой в элементе трубы высотой  $h$  при барботажном режиме,  $\text{м}^3$ .

С учётом зависимостей (5), (8) и (11)

$$W_{\text{воз}} = \frac{P_1}{\rho g} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left( 1 - \frac{P_0}{P_1} \right) - \frac{\int_0^h \rho_{\text{см}} \cdot S_{\text{тр}} \cdot dz}{\rho} =$$

$$= \frac{P_1}{\rho g} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left( 1 - \frac{P_0}{P_1} - 1 + \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{h}{H+h}} \right) = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{P_0}{\rho g} \cdot \left( \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\alpha-1} - 1 \right).$$

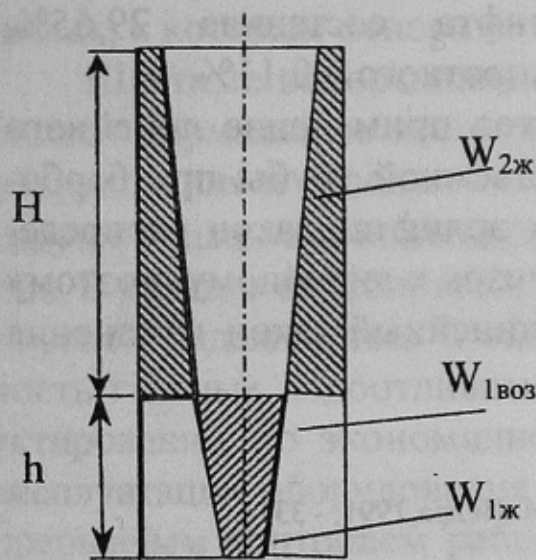


Рисунок 3 - Принятая схема расположения объёмов воды и воздуха в подъёмной трубе

Таким образом, сравнивая полученные значения  $W_{\text{воз}}$  и  $W_{2ж}$ , делаем вывод о том, что объём жидкости в смеси, расположенной в подъёмной трубе выше уровня жидкости в водосборнике, равен объёму, вытесненному воздухом из объёма жидкости, расположенного ниже уровня воды в водосборнике.

Определим погрешность между теоретически полученной зависимостью (5) и линейным законом распределения давления вдоль подъёмной трубы эрлифта (рис.4.), который принят на кафедре "Горной механики" ДонНТУ.

Линейный закон распределения давления вдоль подъёмной трубы имеет вид:

$$P_{\text{л}} = \frac{P_0 - P_1}{H + h} z + P_1, \tag{13}$$

Относительная погрешность определения давления при использовании линейного закона распределения и теоретически полученного определится как

$$\delta_p = \frac{|S_{\text{тр}}^{\text{л}} - S_{\text{тр}}^{\text{кр}}|}{S_{\text{тр}}^{\text{кр}}} 100\% \quad (14)$$

где  $S_{\text{тр}}^{\text{л}}$  - площадь трапеции, ограниченной линейным законом распределения давления,  $\text{м}^2$ ;

$S_{\text{тр}}^{\text{кр}}$  - площадь трапеции, ограниченной криволинейным законом распределения давления,  $\text{м}^2$ .

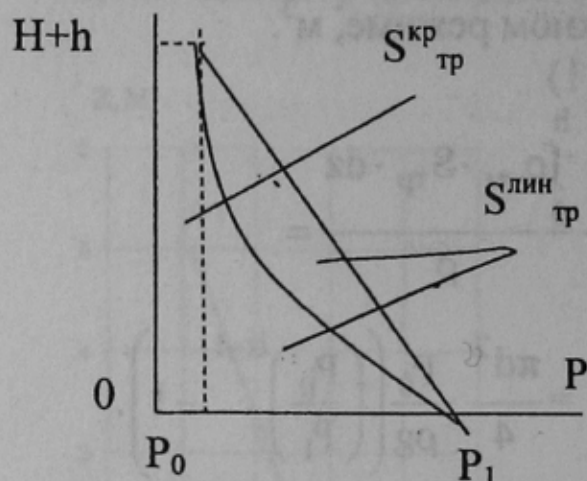


Рисунок 4 - К вычислению погрешности распределения давления

Относительная погрешность при использовании линейного закона распределения давления для определения величины давления в подъемной трубе исследуемого длинного эрлифта составила 29,65%, короткого – 0,11%.

Таким образом, для длинных эрлифтов применение линейного закона распределения давления вдоль подъемной трубы при барботажном режиме недопустимо. В коротких эрлифтах закон распределения давления вдоль подъемной трубы близок к линейному, поэтому для таких эрлифтов может применяться линейный закон изменения давления.

Список источников:

Гидравлика и гидропривод. // Под ред. В.Г.Гейера, М.:Недра, 1991, - 331с.