

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ В ПОДЪЕМНОЙ ТРУБЕ ЭРЛИФТА

Визначено закони розподілу щільності газорідинної суміші вздовж піднімальної труби ідеального та навілідеального ерліфта; розглянута можливість застосування рівняння Бернуллі для дослідження руху потоку суміші в піднімальній трубі ерліфта.

Выясним пределы использования применяемой модели газожидкостной смеси в подъемной трубе эрлифта, для чего проанализируем основополагающее уравнение распределения плотности смеси вдоль подъемной трубы эрлифта:

$$\rho_c = \rho \left(1 + q_0 \frac{P_0}{P} \right)^{-1} \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{\rho} q_0 \right), \quad (1)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

ρ_0 – плотность воздуха при нормальных физических условиях, кг/м³;

P_0 – атмосферное давление, Па;

P – давление в произвольно выданном сечении, Па;

q_0 – удельный расход воздуха, приведенный к условиям окружающей среды.

Удельный расход воздуха определяется из соотношения:

$$q_0 = \frac{Q_0}{Q}, \quad (2)$$

где Q_0 – объемный расход воздуха, приведенный к условиям окружающей среды, м³/с;

Q – подача воды, м³/с.

Рассмотрим равенство масс смеси и ее фаз в элементарном объеме подъемной трубы эрлифта высотой dz :

$$\rho_c \cdot S \cdot dz = \rho \cdot S_{ж} \cdot dz + \rho_g \cdot S_g \cdot dz \quad (3)$$

где S – площадь сечения трубы, м²;

$S_{ж}$ – площадь сечения трубы, занятая жидкой фазой, м²;

S_g – площадь сечения трубы, занятая воздухом, м²;

ρ_g – плотность воздуха в рассматриваемом сечении, кг/м³.

Применяемая модель газожидкостного потока изометрическая и, следовательно:

$$\rho_g = \rho_0 \frac{P}{P_0}, \quad (4)$$

После преобразования уравнение (4) перепишется в виде:

$$\rho_c = \rho \cdot \frac{S_{ж}}{S} + \rho_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{S_g}{S} \quad (5)$$

Вторая составляющая на два порядка меньше первой и ее можно пренебречь и получим:

$$\rho_c = \rho \frac{S_{ж}}{S}, \quad (6)$$

Решая совместно (1) и (6), получим:

$$S_{ж} = \frac{S}{1 + q_0 \cdot \frac{P_0}{P}}, \quad (7)$$

Скорость жидкости, осредненная по сечению и по времени:

$$V_{ж} = \frac{Q}{S} \left(1 + q_0 \cdot \frac{P_0}{P} \right), \quad (8)$$

Выясним скорость движения газовой фазы:

$$V_g = \frac{Q_g}{S - S_{ж}} = \frac{Q}{S} \left(1 + q_0 \cdot \frac{P_0}{P} \right), \quad (9)$$

Из (8) и (9) следует, что скорости фаз одинаковы и принятую модель газожидкостной смеси можно использовать при исследовании только идеальных и полуйдеальных эрлифтов. Для исследования идеальных эрлифтов закон распределения плотности газожидкостной смеси (6) не применим и в теоретических работах, где его используют, так как результаты исследований отображают физическую суть явлений с большой погрешностью.

Индивидуальные характеристики эрлифтных установок, применяемых на угольных шахтах для подъема воды и гидросмеси, в достаточной мере исследованы экспериментально. На основании накопленного опыта производится и проектирование новых установок. Большинство теоретических положений, а также методика проектирования новых установок базируется на накопленном экспериментальном материале, рекомендуя для упрощения расчета принимать постоянным коэффициент $\lambda_c=0,03$ или $0,02$, а значение мощности на покрытие потерь определяется через среднюю скорость смеси V_c в подъемной трубе эрлифта.

Рассмотрим работу полуйдеального эрлифта, у которого отсутствует скольжение фаз и все потери в подъемной трубе эрлифта отнесены к гидравлическому трению.

Изотермический поток газожидкостной смеси будем считать квазиустановившимся, представим его как гипотетическую сплошную среду и запишем уравнение Д. Бернулли в дифференциальной форме:

$$dz + \frac{dP}{\rho_c \cdot g} + d\left(\frac{V_c^2}{2g}\right) + \lambda_c \frac{dz}{D} \cdot \frac{V_c^2}{2g} = 0 \quad (10)$$

где V_c – скорость смеси, м/с;
 D – диаметр подъемной трубы эрлифта, м;
 λ_c – приведенный коэффициент гидравлического трения, учитывающий покрытие потерь напора в подъемной трубе эрлифта;
 g – ускорение силы тяжести, м/с²;
 z – координата выбранного сечения, м.

Начало отсчета выбирается на входе в подъемную трубу эрлифта, координатная ось z совпадает с осью симметрии трубы и направлена вверх.

Решим совместное уравнение (1), (5) и (10) и приняв за начальные параметры потока на входе в подъемную трубу эрлифта при $z = 0$ и $P_1 = P_0 + \rho gh$, где h – глубина погружения смесителя эрлифта, и получим:

$$z = \frac{P_1 - P}{\rho g \left(1 + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}\right)} - \frac{q_0 \cdot P_0 \left(1 - \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}\right)}{2\rho \cdot g \left(1 + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}\right)^2} \cdot \ln\left(\frac{P_0}{P_1}\right) \cdot \frac{1 + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2} \left(1 + q_0 \frac{P_0}{P}\right)^2}{1 + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2} \left(1 + q_0 \frac{P_0}{P_1}\right)^2} -$$

$$- \frac{D}{\lambda_c} \cdot \ln \frac{1 + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2} \left(1 + q_0 \frac{P_0}{P}\right)^2}{1 + \left(\frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}\right) \left(1 + q_0 \frac{P_0}{P_1}\right)^2} - \frac{2q_0 \cdot P_0 \sqrt{\frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}}}{\rho \cdot g \cdot \left(1 + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}\right)} \times$$

$$\times \arctg \frac{4 \left(1 + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}\right) \frac{P_1 - P}{P^2} P_0 \cdot q_0 \sqrt{\frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g \cdot D \cdot S^2}}}{4 \frac{P_1}{P} + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{g D S^2} \left[2q_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^2 + 4 \frac{P_1}{P} + \left(1 + \frac{P_1}{P}\right) \cdot q_0 \frac{P_0}{P} \right] + \frac{\lambda_c \cdot Q^2}{2g D S^2} \left(2 \frac{P_1}{P} + q_0 \frac{P_0}{P}\right) \left(2 + q_0 \frac{P_0}{P}\right)} \quad (11)$$

После подстановки в уравнение (11) конечных условий $z = H + h$, $P = P_0$ и, используя экспериментальные характеристики эрлифтов согласно рисунку 1, методом интегрирования определяются среднеинтегральные значения приведенных коэффициентов гидравлического трения при $Q = 0,8Q_{max}$.

№ эрлифта	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_c	0,041	0,039	0,038	0,039	0,042	0,046	0,049	0,055

Используя уравнение (11) и значение для первого эрлифта по рисунку 1, $\alpha=0,75$; $h=68$ м; $D=0,15$ м; $q_0=2,85$ построим зависимость (рисунок 2).

Характеристика эрлифта №1 согласно рисунка 2 близка к прямой линии, в соответствии с [2], имеет начальные и конечные параметры, совпадающие с экспериментальными, подтверждает возможность применения уравнения Бернулли для исследования работы полудиальных эрлифтов.

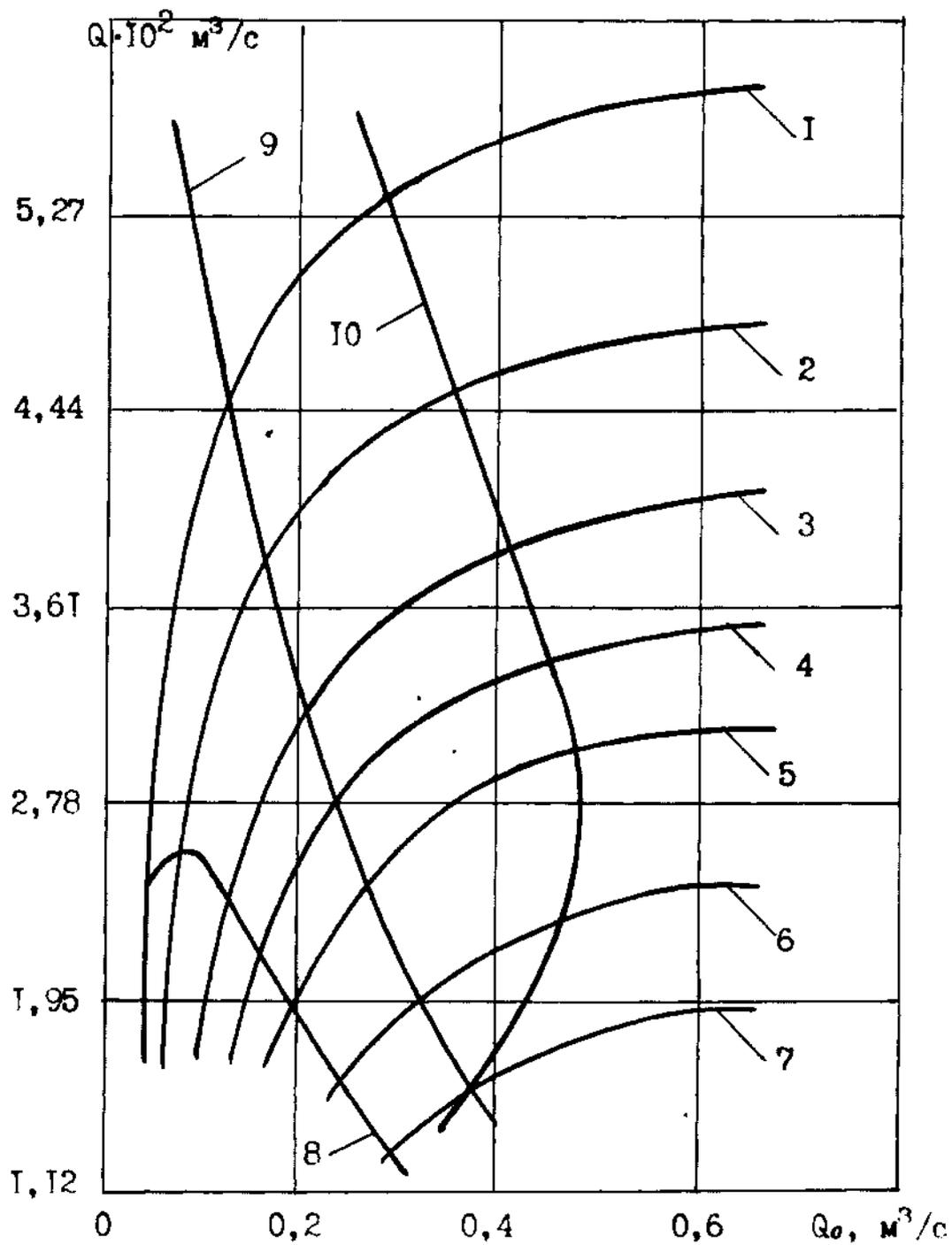


Рисунок 1 – Расходные характеристики эрлифтов.

1 – $\alpha = 0,75$, $h = 68\text{м}$; 2 – $\alpha = 0,61$, $h = 55\text{м}$; 3 – $\alpha = 0,51$, $h = 67,4\text{м}$; 4 – $\alpha = 0,46$, $h = 68,5\text{м}$; 5 – $\alpha = 0,4$, $h = 70,2\text{м}$; 6 – $\alpha = 0,32$, $h = 61\text{м}$; 7 – $\alpha = 0,26$, $h = 51,5\text{м}$; 8 – линия оптимальных режимов; 9 – линия режимов, соответствующих $0,8Q_{\text{max}}$; 10 – расчетная кривая удельных расходов q_0 .

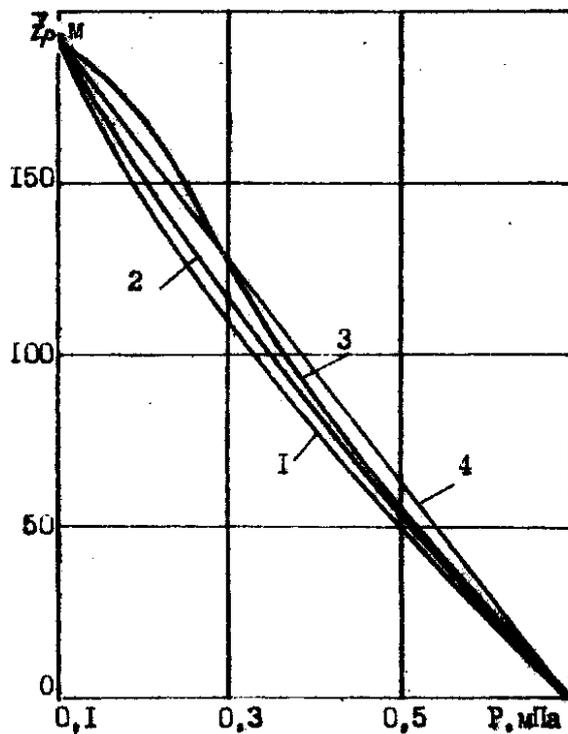


Рисунок 2 – Зависимость z_p от P для эрлифта: 1 – при $Q_{\text{опт}}$; 2 – при $0,8Q_{\text{max}}$; 3 – при Q_{max} ; 4 – линейная зависимость.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Исследование турбулентных течений двухфазных сред / Под ред. Кутателадзе С.С. Новосибирск, 1973.
2. Костанда В.С. Экспериментальное исследование эрлифта с переменными α и D в условиях откачки ствола. Труды донецкого политехнического института. Том 62, выпуск 12 "Гидромеханизация". Сталино, 1961.
3. Аргунов Л.П. Исследование работы эрлифта и его расчет. Труды НИИ оснований и фундаментов министерства строительства СССР. Строительное водопонижение и физика грунтовых вод. Сб. № 20, М., 1963.