

**А. П. КОНОНЕНКО**, д-р техн. наук, проф., ДонНТУ, Донецк;  
**В. В. КАЛИНИЧЕНКО**, ст. преп., КИИ ДонНТУ, Красноармейск

## **МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЭРЛИФТА С УЧЕТОМ СТРУКТУРЫ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ СНАРЯДНОГО ВОДОВОЗДУШНОГО ПОТОКА**

Разработана математическая модель рабочего процесса эрлифта со снарядной структурой водовоздушного потока в подъемной трубе с учетом структуры газожидкостных образований, позволяющая определять как количественные гидродинамические параметры двухфазной смеси, так и расчетные характеристики подъемника. Подтверждена адекватность математической модели данными экспериментальных исследований работы эрлифта.

**Ключевые слова:** эрлифт, подъемная труба, водовоздушная смесь, подача, расход воздуха, газосодержание, давление, мощность.

**Введение.** Высокоэффективная работа пневмогидравлических машин и аппаратов основывается на адекватном математическом описании их рабочих процессов, предполагающем глубокое понимание происходящих в проточных частях этих машин и аппаратов гидродинамических явлений.

Наиболее энергоэффективно работают эрлифты, как пневмогидравлические аппараты, при обеспечении снарядной структуры водовоздушного потока в их подъемных трубах [1 – 2]. Однако существующие математические модели рабочих процессов общепромышленных эрлифтов не учитывают структуру снарядного потока, в частности, относительные длины (вычисляемые относительно внутренних диаметров труб) жидкостных пробок.

Поэтому математическое описание рабочего процесса эрлифта с учетом структуры газожидкостных образований снарядного водовоздушного потока является актуальной научной задачей, имеющей существенное практическое приложение.

**Анализ исследований и публикаций.** Основой математического моделирования газожидкостных снарядных потоков являются труды многих видных ученых-гидродинамиков *Кутателадзе С.С., Нигматулина Р.И., Уоллиса Г., Хьюитт Д.* и др., являющихся обобщением теоретических [3 – 5] и экспериментальных [6 – 7] исследований.

Подтверждением возможности адекватного моделирования снарядных течений являются разработки для множества условий применения – газлифтных скважин [8 – 9], горизонтальных трубопроводов [10], пароводяных потоков в котельных установках [11 – 12] и др.

Разработана адекватная математическая модель и для описания рабочего

процесса общепромышленного эрлифта со снарядной структурой водовоздушной смеси [13 – 15], однако она не позволяет установить влияние на энергоэффективность работы газожидкостного подъемника относительной длины жидкостных пробок снарядного потока,

что может быть значительным резервом повышения КПД всей эрлифтной установки.

**Постановка задачи.** Требуется усовершенствовать существующую математическую модель рабочего процесса эрлифта со снарядной структурой водовоздушной смеси за счёт установления аналитической зависимости для влияния на энергоэффективность работы газожидкостного подъемника относительной длины жидкостных пробок снарядного потока.

**Математическая модель.** Снарядная структура водовоздушного потока в эрлифте характеризуется очередностью прохождения в подъемной трубе жидкостных пробок длиной  $L_S$  и газовых пузырей длиной  $L$  (см. рис. 1). Между газовыми пузырями и стенкой трубы имеет место нисходящее движение жидкостной пленки [3 – 5; 16]. Истинная скорость жидкостных пробок –  $w'(z)$ , газовых пузырей –  $w''(z)$ , приведенная скорость водовоздушной смеси –  $w_{cm}(z)$ , скорость нисходящего движения жидкостной пленки  $w_n'(z)$ .

Математическое моделирование рабочих процессов гидropневматических машин и аппаратов, к которым относится и эрлифт, базируется на

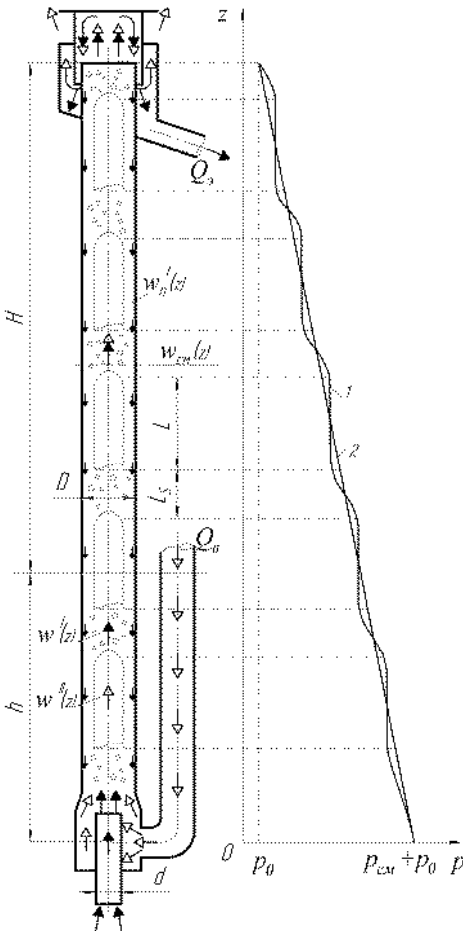


Рис. 1 – Схема эрлифта со снарядной структурой водовоздушного потока: истинная 1 и усредненная 2 эпюры давления в подъемной трубе ( $D$  и  $d$  – диаметры подъемной и подающей труб;  $H$  – высота подъема;  $h$  – геометрическое погружение смесителя;  $L_S$  – длина жидкостной пробки,  $L$  – длина газового пузыря).

использовании фундаментальных уравнений сохранения – массы и количества движения [3 – 5; 16 – 17].

Применительно к вертикальному восходящему газожидкостному снарядному потоку двухкомпонентной модели (при известных допущениях) уравнения сохранения могут быть представлены в следующем виде [17 – 18]:  
– уравнение сохранения массы

$$\frac{\partial}{\partial t}(R_1\rho_1 + R_2\rho_2) + \frac{\partial}{\partial z}(R_1\rho_1 w_1 + R_2\rho_2 w_2) = 0, \quad (1)$$

где  $R_k$  – относительная часть площади поперечного сечения вертикальной трубы  $\omega$ , занимаемая фазой  $k$ ;  $w_k$  – компонента вектора скорости  $v_k$  по вертикальной оси  $z$ ;  $\rho_k$  и  $v_k$  – плотность и вектор скорости фазы  $k$  ( $k = 1; 2$ );  $t$  – время;

– уравнение сохранения количества движения

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(R_1\rho_1 w_1 + R_2\rho_2 w_2) + \frac{\partial}{\partial z}(R_1\rho_1 w_1^2 + R_2\rho_2 w_2^2) - (R_1\rho_1 + R_2\rho_2) F_z + \frac{\partial p}{\partial z} = \\ = \frac{1}{\omega} \sum_{k=1,2} \int_{c_k(z,t)} \overline{\mathbf{n}_z \cdot (\mathbf{n}_k \cdot \boldsymbol{\tau}_k)} \frac{dc}{\mathbf{n}_k \cdot \mathbf{n}_{kc}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $F_z$  – проекция единичной массовой силы на ось  $z$ ;  $p$  – давление;  $\omega$  – площадь поперечного сечения трубы;  $\mathbf{n}_z$  – единичный вектор по направлению оси  $z$ ;  $\mathbf{n}_k$  – единичный вектор нормали в заданной точке поверхности;  $\mathbf{n}_{kc}$  – единичный вектор, расположенный в плоскости поперечного сечения  $\omega_k(z, t)$  и направленный от фазы  $k$  в точке пересечения поверхности раздела  $\omega_i(z, t)$  и плоскости поперечного сечения  $\omega_k(z, t)$ ;  $\omega_k(z, t)$  – занимаемая фазой  $k$  часть площади поперечного сечения трубы  $\omega$ ;  $\omega_i(z, t)$  – поверхность раздела фаз;  $\boldsymbol{\tau}_k$  – тензор вязкостных напряжений;  $c(z, t)$  – граница между фазами в поперечном сечении трубы  $\omega$ ;  $c_k(z, t)$  – границы между фазами и стенкой трубы в поперечном сечении  $\omega$ .

Горизонтальная линия над интегралом из правой части уравнения (2) означает оператор осреднения по времени.

Двухкомпонентная модель снарядного газожидкостного потока предполагает количественную оценку газосодержания через его истинное значение  $\varphi$ , а потерь на трение – через касательное напряжение на внутренней стенке подъемной трубы  $\tau_w$ .

Упрощенные уравнения сохранения для двухкомпонентной модели получим из уравнений для двухфазной смеси (1) и (2) [17 – 18]. Для этого примем  $R_1 \equiv 1 - \varphi$ ,  $R_2 \equiv \varphi$  (индекс 1 относится к жидкой фазе, индекс 2 – к газообразной). Единичная массовая сила в рассматриваемых условиях  $F_z \equiv -g$ ,

где  $g$  – ускорение свободного падения. Величину из правой части уравнения (2), выражающую потери давления на преодоление сил трения, обозначим  $(-\chi \cdot \tau_w / \omega)$ , где  $\chi$  – периметр поперечного сечения трубы

Тогда уравнение неразрывности движения для снарядной структуры примет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} [(1-\varphi)\rho_1 + \varphi\rho_2] + \frac{\partial}{\partial z} [(1-\varphi)\rho_1 w_1 + \varphi\rho_2 w_2] = 0, \quad (3)$$

а для установившегося потока –

$$(1-\varphi)\rho_1 w_1 + \varphi\rho_2 w_2 = G = const, \quad (4)$$

где  $G$  – приведенная массовая скорость водовоздушной смеси.

Запишем уравнение количества движения для смеси в установившихся условиях установившегося течения:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{\chi}{\omega} \tau_w - \frac{d}{dz} [(1-\varphi)\rho_1 w_1^2 + \varphi\rho_2 w_2^2] - [(1-\varphi)\rho_1 + \varphi\rho_2] g. \quad (5)$$

Из (5) видно, что полные потери давления  $dp/dz$  складываются из составляющих потерь на трение  $(dp/dz)_{mp}$ , инерционной  $(dp/dz)_{yck}$  и гидростатической  $(dp/dz)_g$  составляющей, то есть уравнение (5) можно представить в виде

$$dp/dz = (dp/dz)_{mp} + (dp/dz)_{yck} + (dp/dz)_g. \quad (6)$$

Интегрирование уравнения (6) выполняется в пределах длины подъемной трубы эрлифта  $0 \leq z \leq H + h$ .

Используя уравнение неразрывности (3) или (4) (в рассматриваемом случае – (4)) и количества движения (5), можно получить уравнение стационарного восходящего движения водовоздушной смеси в вертикальной трубе для двухкомпонентного течения в виде [3 – 5]:

$$-\frac{dp(z)}{dz} = \frac{4 \cdot \tau_w(z)}{D} + \frac{d}{dz} \{G''(z) \cdot w''(z) \cdot \varphi(z) + G'(z) \cdot w'(z) \cdot [1 - \varphi(z)]\} + \rho_{cm}(z) \cdot g, \quad (7)$$

где  $D$  – диаметр подъемной трубы;  $G'(z)$  и  $G''(z)$  – массовые скорости соответственно жидкости и газа;  $\rho_{cm}(z)$  – плотность водовоздушной смеси.

Далее будем учитывать известные зависимости [13], описывающие следующие параметры:

– массовые скорости газообразной  $G''(z)$  и жидкостной  $G'(z)$  фаз

$$G''(z) = \frac{Q_b \cdot \rho_0''}{\omega \cdot \varphi(z)} = \frac{G \cdot x}{\varphi(z)}, \quad G'(z) = \frac{Q_3 \cdot \rho'}{\omega \cdot [1 - \varphi(z)]} = \frac{G \cdot (1-x)}{1 - \varphi(z)},$$

где  $Q_b$  – объемный расход воздуха при нормальных условиях;  $Q_3$  – объем-

ная подача эрлифта;  $\rho_0''$  – плотность воздуха при нормальных условиях;  $\rho'$  – плотность воды;  $x$  – массовое расходное газосодержание;  
– плотность водовоздушной смеси:

$$\rho_{\text{см}}(z) = \varphi(z) \cdot \rho''(z) + [1 - \varphi(z)] \cdot \rho',$$

где  $\rho''(z)$  – плотность воздуха в сечении  $z$ ;

– действительные скорости фаз в подъемной трубе:

воды 
$$w'(z) = Q_3 / [\omega \cdot [1 - \varphi(z)]];$$

воздуха 
$$w''(z) = Q_B(z) / [\omega \cdot \varphi(z)];$$

– абсолютное давление в сечении  $z$  подъемной трубы (при допущении линейности изменения давления по высоте трубы):

$$p_a(z) = p_0 + p_{\text{см}} \cdot [1 - z / (H + h)],$$

где  $p_0$  – атмосферное давление;  $p_{\text{см}}$  – избыточное давление в смесителе (при  $z = 0$  абсолютное давление в смесителе  $p_{a \text{ см}} = p_0 + p_{\text{см}}$ );

– объемный расход воздуха в  $z$ -ом сечении подъемной трубы при изотермическом процессе изменения состояния газовой фазы:

$$Q_B(z) = Q_B \cdot p_0 / p_a(z).$$

Тогда после интегрирования (7) можно получить:

$$\begin{aligned} p_{\text{см}} \frac{z_i}{H + h} = \frac{4}{D} \int_0^{z_i} \tau_{\text{ст}}(z) dz + G \cdot [x \cdot w''(z) + (1 - x) \cdot w'(z)]_0^{z_i} + \\ + g \int_0^{z_i} \{ \varphi(z) \cdot \rho''(z) + [1 - \varphi(z)] \cdot \rho' \} dz. \end{aligned} \quad (8)$$

Анализируя ряд известных зависимостей для определения истинного газосодержания  $\varphi(z)$  [5 – 7, 10, 16], для решаемой задачи его целесообразно определить по выражению [5]

$$\varphi(z) = \frac{Q_B(z)}{C_1 \cdot [Q_B(z) + Q_3] + C_2 \cdot \omega \cdot w''_{\infty}(z)}, \quad (9)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  коэффициенты;  $C_1 = 1,2$ ;  $C_2 = 1 + 8e^{-1,06L_S/D}$  при  $\text{Re}_{\text{см}} > 8000$ ;  $L_S / D$  – относительная длина жидкостной пробки.

Выражение для касательного напряжения на внутренней стенке подъемной трубы [5] в качестве одного из аргументов содержит истинное газосодержание  $\varphi(z)$ , определяемое с учетом взаимовлияния газожидкостных образований снарядной структуры водовоздушного потока

$$\tau_w(z) = [1 - \varphi(z)] \cdot \lambda(z) \cdot \rho' \cdot [w_{\text{см}}(z)]^2 / 8, \quad (10)$$

где

$$\lambda(z) = 0,11 \left( \frac{\Delta_3}{D} + \frac{68}{\text{Re}_{\text{см}}(z)} \right)^{0,25}$$

– коэффициент гидравлического трения [19], здесь  $\Delta_3$  – эквивалентная шероховатость;  $\text{Re}_{\text{см}}(z) = w_{\text{см}}(z) \cdot D \cdot \rho_{\text{см}}(z) / \mu_{\text{см}}$  – критерий Рейнольдса двухфазной смеси;  $w_{\text{см}}(z) = [Q_3 + Q_B(z)] / \omega$  – приведенная скорость водовоздушной смеси;  $\mu_{\text{см}}$  – динамическая вязкость двухфазной смеси,  $1/\mu_{\text{см}} = 1/\mu'' + (1-x)/\mu'$ ;  $\mu'$  – динамическая вязкость воды;  $\mu''$  – динамическая вязкость воздуха.

Таким образом, вычисленные по (9) истинное газосодержание  $\varphi(z)$  и по (10) касательное напряжение  $\tau_w(z)$  зависят, в том числе, и от относительной длины жидкостной пробки  $L_S / D$ . Это позволит установить влияние параметра  $L_S / D$  на эффективность работы эрлифта и определить рациональный диапазон значений  $L_S / D$  для исследуемого класса газожидкостных подъемников (диаметров  $D$  и  $H + h$  длин подъемных труб, погружений смесителей  $h$ ).

**Адекватность математической модели.** Адекватность разработанной математической модели рабочего процесса эрлифта с учетом структуры снарядного водовоздушного потока подтверждается удовлетворительной сходимостью расчетных значений гидродинамических параметров с экспериментальными данными (см. рис. 2).

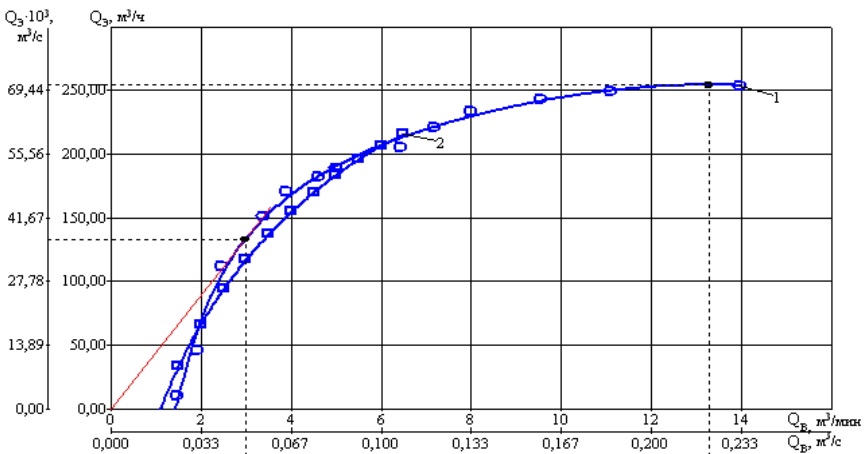


Рис. 2 – Экспериментальная 1 [20] и расчетная 2 характеристики эрлифта  
 $D = 250$  мм,  $H + h = 11,45$  м,  $d = 150$  мм,  $h = 8$  м,  $L_S / D = 2$ .

**Перспективы дальнейших исследований.** Для возможности анализа энергетической эффективности работы эрлифта необходимо знать затратные составляющие давлений и мощностей газожидкостного потока в подъемной трубе, для чего воспользуемся следующими зависимостями [13].

Суммарный перепад давления на участке подъемной трубы длиной  $z_i$ :

$$P_{\Sigma i} = P_{a\text{ см}} - P_a(z_i) = P_{\text{см}} z_i / (H + h),$$

или

$$P_{\Sigma i} = P_{\text{три}} + P_{\text{уски}} + P_{gi}, \quad (11)$$

где  $P_{\text{три}}$  – перепад давления на участке подъемной трубы длиной  $z_i$ , обусловленный трением,

$$P_{\text{три}} = \frac{4}{D} \int_0^{z_i} \tau_w(z) dz;$$

$P_{\text{уски}}$  – перепад давления на участке подъемной трубы длиной  $z_i$ , обусловленный ускорением,

$$P_{\text{уски}} = G \cdot [x \cdot w''(z) + (1-x) \cdot w'(z)]_0^{z_i};$$

$P_{gi}$  – перепад давления на участке подъемной трубы длиной  $z_i$ , обусловленный силой тяжести

$$P_{gi} = g \int_0^{z_i} \{ \varphi(z) \cdot \rho''(z) + [1 - \varphi(z)] \cdot \rho' \} dz.$$

Средний объемный расход водовоздушной смеси на участке подъемной трубы длиной  $z_i$ :

$$Q_{\text{ср}i} = \frac{1}{z_i} \cdot \int_0^{z_i} Q(z) dz = \frac{1}{z_i} \cdot \int_0^{z_i} \frac{G \cdot \omega}{\rho_{\text{см}}(z)} dz = \frac{G \cdot \omega}{z_i} \cdot \int_0^{z_i} \frac{dz}{\rho_{\text{см}}(z)}.$$

Суммарная мощность, необходимая для компенсации потерь на трение, ускорение (инерционная составляющая) и гравитационной составляющей при движении водовоздушного потока со средним объемным расходом  $Q_{\text{ср}i}$  по участку вертикальной подъемной трубы длиной  $z_i$ :

$$N_{\Sigma i} = P_{\Sigma i} \cdot Q_{\text{ср}i} = P_{\text{см}} \cdot \frac{G \cdot \omega}{H + h} \cdot \int_0^{z_i} \frac{dz}{\rho_{\text{см}}(z)},$$

или

$$N_{\Sigma i} = N_{\text{три}} + N_{\text{уски}} + N_{gi}; \quad (12)$$

здесь  $N_{\text{три}}$  – мощность, необходимая для компенсации потерь на трение на участке подъемной трубы длиной  $z_i$

$$N_{\text{три}} = P_{\text{три}} \cdot Q_{\text{ср}i} = \frac{4 \cdot G \cdot \omega}{D \cdot z_i} \cdot \int_0^{z_i} \tau_w(z) dz \cdot \int_0^{z_i} \frac{dz}{\rho_{\text{см}}(z)};$$

$N_{\text{уски}}$  – мощность, необходимая для компенсации потерь на ускорение на участке подъемной трубы длиной  $z_i$

$$N_{\text{уски}} = p_{\text{уски}} \cdot Q_{\text{ср}i} = \left[ x \cdot w''(z) + (1-x) \cdot w'(z) \right] \Big|_0^{z_i} \cdot \frac{G^2 \cdot \omega}{z_i} \cdot \int_0^{z_i} \frac{dz}{\rho_{\text{см}}(z)};$$

$N_{gi}$  – мощность, необходимая для преодоления силы тяжести при движении водовоздушного потока со средним объемным расходом  $Q_{\text{ср}i}$  на участке подъемной трубы длиной  $z_i$

$$N_{gi} = p_{gi} \cdot Q_{\text{ср}i} = g \cdot \frac{G \cdot \omega}{z_i} \cdot \int_0^{z_i} \rho_{\text{см}}(z) dz \cdot \int_0^{z_i} \frac{dz}{\rho_{\text{см}}(z)}.$$

Мощность, подведенная на участке трубы длиной  $z_i$  потоком сжатого воздуха

$$N_i'' = p_0 \cdot Q_B \cdot \ln \frac{p_{\Sigma i} + p_0}{p_0}.$$

Мощность, подведенная к подъемной трубе потоком воды,

$$N' = \rho' \cdot g \cdot h \cdot Q_3.$$

Мощность, подведенная на участке подъемной трубы длиной  $z_i$  водовоздушным потоком,  $N_{\text{под}i} = N_i'' + N'$ .

Мощность, необходимая для компенсации потерь на скольжение фаз при движении водовоздушного потока на участке трубы длиной  $z_i$ ,

$$N_{\text{ски}} = N_{\text{под}i} - N_{\Sigma i}. \quad (13)$$

Решение разработанной математической модели рабочего процесса эрлифта (уравнения (8), (11) – (13)) численным методом с использованием ПЭВМ позволяет определять, в том числе, подачу эрлифта  $Q_3$ , давления  $p_{\Sigma i}$ ,  $p_{\text{тр}i}$ ,  $p_{\text{уски}}$ ,  $p_{gi}$ , и мощности  $N_{\Sigma i}$ ,  $N_{\text{тр}i}$ ,  $N_{\text{уски}}$ ,  $N_{gi}$ ,  $N_{\text{ски}}$ ,  $N'$ ,  $N''$ ,  $N_{\text{под}i}$  в зависимости от относительной длины жидкостной пробки  $L_S / D$  в подъемной трубе, то есть установить влияние структуры газожидкостных образований снарядного водовоздушного потока на эффективность работы газожидкостного подъемника.

**Выводы.** Разработана модель рабочего процесса эрлифта, отличающаяся учетом структуры снарядного водовоздушного потока в подъемной трубе, позволяющая установить влияние относительной длины жидкой пробки в подъемной трубе на эффективность работы газожидкостного подъемника. Полученные аналитические результаты будут являться основой совершенствования определенного класса эрлифтных установок.

**Список литературы:** 1. Кононенко А.П. Структуры двухфазных потоков в подъемных трубах эрлифтов // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – Суми: СДУ. – 2005. – №12(84). – С. 38 – 48. 2. Кононенко А.П., Гусак А.Г. Экспериментальное подтверждение влияния вида структуры водовоздушного потока на энергоемкость эрлифта // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки, Науковий журнал. – 2009. – № 1. – С. 34 – 42. 3. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. 2-е изд., пере-



раб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 296 с. **4.** *Нигматулин Р.И.* Динамика многофазных сред. ч. II. – М.: Наука, Гл. ред. физ.мат. лит., 1987. – 360 с. **5.** *Уоллис Г.* Одномерные двухфазные течения. М.: Мир, 1972. – 440 с. **6.** *Арманд А.А.* Исследование механизма движения двухфазной смеси в вертикальной трубе. В кн.: Гидродинамика и теплообмен при кипении в котлах высокого давления. М.: Изд-во АН СССР, 1955. – С. 21 – 34. **7.** Исследование турбулентных течений двухфазных сред / Под ред. *Кутателадзе С.С.*, Новосибирск, 1973. – 315 с. **8.** *Маркович Э.Э.* Образование и длина жидких пробок в газлифтных скважинах // Нефтяное хозяйство. – 1991. – №12. – С. 22 – 23. **9.** *Айтеширов З.А.* Некоторые вопросы движения пробковой структуры газонефтяного потока // Изв. ВУЗов. Нефть и газ. – 1969. – №8. – С. 39 – 41. **10.** *Мамаев В.А., Одишария Г.Э., Кляпчук О.В., Точигин А.А., Семенов Е.И.* Движение газожидкостных смесей в трубах. – М.: Недра, 1978. – 271 с. **11.** *Субботин В.И., Похвалов Ю.Е., Михайлов Л.Е., Кронин И.В., Леонов В.А.* Временные и структурные характеристики газожидкостного потока при снаряжном течении // Теплоэнергетика. – 1976. – №1. – С. 67 – 70. **12.** *Субботин В.И., Похвалов Ю.Е., Леонов В.А.* Структура снаряжного пароводяного потока // Теплоэнергетика. – 1977. – №7. – С. 65 – 67. **13.** *Кононенко А.П.* Модель рабочего процесса эрлифта со снарядной структурой водовоздушного потока // Промислова гідраліка і пневматика. – Вінниця. – 2006. – №1 (11). – С. 34 – 37. **14.** *Бойко Н.Г., Кононенко А.П.* Расчетные характеристики эрлифта со снарядной структурой водовоздушной смеси // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Гірничо-електромеханічна". – Донецьк: ДонНТУ. – 2006. – Вип. 104. – С. 17 – 29. **15.** *Кононенко А.П.* Тиски та потужності снарядного водоповітряного потоку в піднімальній трубі ерліфта // Науковий журнал "Вісник Донецького державного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського". Серія "Технічні науки". – Донецьк: ДонДУЕТ. – 2006. – №1(29). – С. 20 – 30. **16.** *Гриценко А.И., Кляпчук О.В., Харченко Ю.А.* Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах. – М.: Недра, 1994. – 238 с. **17.** *Делайе Дж, Гюо М., Ритмюллер М.* Теплообмен и гидродинамика двухфазных потоков в атомной и тепловой энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 424 с. **18.** *Кононенко А.П.* Теория и рабочий процесс эрлифтов: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.05.17. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 565 с. **19.** *Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н.* Гидравлика и гидропривод: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1991. – 331 с. **20.** *Шевченко В.Ф.* Исследование и разработка узла подвода пневматической энергии в эрлифте: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.173. – Донецк: ДПИ, 1974. – 183 с.

*Поступила в редколлегию 05.02.2013*

---

УДК 622.276.5:556

**Модель рабочего процесса эрлифта с учетом структуры газожидкостных образований снарядного водовоздушного потока / А.П. Кононенко, В.В. Калиниченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №5 (979). – С. 110-118. Бібліогр.: 20 назв.**

Розроблено математичну модель робочого процесу ерліфта зі снарядною структурою водоповітряного потоку в підіймній трубі з урахуванням структури газорідних утворень, що дозволяє визначати як кількісні гідродинамічні параметри двофазної суміші, так і розрахункові характеристики підіймника. Підтверджена адекватність математичної моделі даними експериментальних досліджень роботи ерліфта.

**Ключові слова:** ерліфт, підіймна труба, водоповітряна суміш, подача, витрата повітря, газозміст, тиск, потужність.

The mathematical model of operating process of the airlift is worked out with the projectile structure of the water-air stream in a lifting pipe taking into account the structure of the gas-liquid formations, that allows to define both the quantitative hydrodynamic parameters of the two-phase mixture and calculation descriptions of lift. Adequacy of mathematical model is confirmed by data of experimental researches of work of the airlift.

**Keywords:** airlift, lifting pipe, water-air mixture, serve, expense of air, gas content, pressure, power.