

УДК 622.276.52:532.529

**А.П. Кононенко** (д-р техн. наук, проф).**М.Ю. Карпушин** (аспирант)

Донецкий национальный технический университет

## **ПОДАЧА ЭРЛИФТНЫХ УСТАНОВОК С ИСТОЧНИКАМИ ПНЕВМОЭНЕРГИИ НЕИЗМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

*Обоснованы энергетически допустимо-возможные зоны эксплуатации эрлифтов с источниками пневмоэнергии неизменной производительности и степень увеличения подачи газожидкостных подъемников традиционной конструкции и конструкции с обеспечением постоянства давления в смесителе.*

**Ключевые слова:** эрлифт, степень увеличения подачи, пневмонагнетатель, энергетически допустимо-возможные зоны, производительность, переменный приток жидкости (гидросмеси)

### *Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.*

Одно из важнейших преимуществ эрлифтов – свойство самовыравнивания, заключающееся в согласовании подачи с переменными (в определенном диапазоне) притоками жидкости (гидросмеси) за счет изменения геометрического погружения смесителя, в наиболее полной мере реализовывается при обеспечении неизменного расхода воздуха независимо от давления в смесителе газожидкостного подъемника [повышение интенсивности подачи эрлифта при увеличении геометрического погружения смесителя также и увеличением расхода воздуха в данной работе не рассматривается, как требующее автоматического регулирования данного процесса]. Обеспечить близкий к постоянному расход воздуха при переменных притоках гидросмеси возможно при пневмоснабжении эрлифта либо от поршневого или струйного (на предельных режимах работы) компрессоров, либо от пневмосети с давлением, существенно превышающем давление в смесителе и дросселированием воздушного потока.

Однако увеличение притоков и, соответственно, подачи эрлифта приводит к увеличению потерь напора в подающей трубе, уменьшению давления в смесителе и снижению возможной интенсивности увеличения подачи с ростом геометрического погружения смесителя. Соответственно снижается абсолютное значение максимально возможной подачи эрлифта.

Так как условия эксплуатации эрлифтов с переменными притоками жидкостей (гидросмесей) являются широко распространенными, то установление возможного диапазона подач газожидкостных подъемников и показателей энергетической эффективности работы достаточно востребованных эрлифтных установок с источниками пневмоэнергии неизменной производительности является актуальной научной задачей, имеющей широкое практическое приложение.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ особенностей работы эрлифтных установок и установление возможных высот подъема, диапазонов изменения подачи и энергетической эффективности работы установок при этом в [1-3] приведен для условий блочного воздухообеспечения эрлифтов центробежными нагнетателями, серийно производимыми ОАО «Дальневосточный завод энергетического оборудования».

Возможные режимы работы эрлифтов, в том числе с источниками пневмоэнергии неизменной производительности, при изменении величин геометрических погружений смесителей из-за изменения значений притоков транспортируемых жидкостей (гидросмесей) рассмотрены в [4-5] преимущественно с качественной стороны без надлежащей количественной оценки значений гидродинамических параметров, характеризующих рабочие процессы газожидкостных подъемников с переменными, в данном случае, давлениями в смесителях из-за переменных потерь давления (напора) в подающих трубах.

Для принятия обоснованных решений при проектировании эрлифтных установок, работающих в условиях переменных притоков жидкостей (гидросмесей), необходимо иметь достоверные данные о технически и энергетически рациональных зонах применения установок с источниками пневмоэнергии неизменной производительности. До настоящего времени возможные зоны рационального использования эрлифтных установок с источниками пневмоэнергии неизменной производительности не установлены.

**Постановка задачи.** Обосновать диапазоны возможных подач, а также энергетическую эффективность работы эрлифтов с источниками пневмоэнергии неизменной производительности.

**Изложение материала и результаты.** Решение задачи обоснования диапазонов возможных подач  $Q_3$ , а также энергетической эффективности работы эрлифтов с источниками пневмоэнергии неизменной производительности в общем виде из-за сложности рассматриваемых процессов в настоящее время не представляется воз-

можным. Поэтому для данных условий целесообразно использовать численный метод анализа работы эрлифтных установок.

Особенности рабочего процесса газожидкостного подъемника в условиях переменных притоков воды (гидросмеси)  $Q_{np}$  и обеспечения неизменного расхода воздуха  $Q_v$  в смеситель независимо от давления в нем рассмотрим на примере эрлифта с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м ( $H$  – высота подъема эрлифта,  $h$  – геометрическое погружение смесителя), диаметром  $D = 200$  мм и диаметрами подающих труб  $d = 100, 125$  и  $150$  мм. Газожидкостные подъемники с такими, и близкими к ним, геометрическими параметрами находят применение в разных отраслях промышленности (энергетике, угольной промышленности и др.) [4, 6].

Целесообразность анализа работы эрлифта с одним заданным диаметром подъемной трубы (в данном случае  $D = 200$  мм) и несколькими значениями диаметров подающих труб ( $d = 100, 125$  и  $150$  мм) обосновывается необходимостью обеспечения разных транспортных скоростей в подающей трубе (табл. 1) энергоэффективного газожидкостного подъемника для выбранных условий его применения – водоотливная установка или гидроподъемная установка для транспортирования твердых материалов с отличающимися физическими свойствами [4].

Таблица 1 – Величины минимально допустимых подач эрлифта  $Q_{э кр}$ , обеспечивающих потребные транспортные скорости в подающей трубе  $w_{n.m}$  при принятых значениях ее диаметра  $d$

Транспортная скорость в подающей трубе $w_{n.m}$ , м/с	Минимально допустимая подача $Q_{э кр}$ , м <sup>3</sup> /ч, при диаметре подающей трубы:		
	$d = 100$ мм	$d = 125$ мм	$d = 150$ мм
1,0	28,3	44,2	63,6
1,5	42,4	66,2	95,4
2,0	56,5	88,3	127,2
2,5	70,7	110,4	159,0
3,0	84,8	132,5	190,8
3,5	98,9	154,5	222,5
4,0	113,0	176,6	254,3

Численный анализ работы газожидкостного подъемника выполнен с использованием математической модели рабочего процесса эрлифта со снарядной структурой водовоздушной смеси, в основу которой положены уравнения неразрывности движения и количества движения двухфазного потока, позволившие получить уравнение

стационарного восходящего вертикального движения двухкомпонентного водовоздушного снарядного течения в подъемной трубе [7]:

$$p_{cm} \frac{z_i}{H+h} = \frac{4}{D} \int_0^{z_i} \tau_w(z) dz + G \cdot [x \cdot w''(z) + (1-x) \cdot w'(z)]_0^{z_i} +$$

$$+ g \int_0^{z_i} \{\varphi(z) \cdot \rho''(z) + [1 - \varphi(z)] \cdot \rho'\} dz, \quad (1)$$

где  $p_{cm}$  – избыточное давление в смесителе;  $z$  – расстояние от смесителя до рассматриваемого сечения подъемной трубы;  $\tau_w(z)$  – касательное напряжение на стенке подъемной трубы;  $G$  – массовая скорость водовоздушной смеси;  $x$  – массовое расходное газосодержание;  $w'(z)$ ,  $w''(z)$  – истинные скорости соответственно воды и воздуха;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\varphi(z)$  – истинное газосодержание водовоздушной смеси;  $\rho''(z)$  – плотность воздуха в сечении  $z$ ;  $\rho'$  – плотность транспортируемой жидкости (гидросмеси).

Решение уравнения (1) численным методом на ПЭВМ при помощи разработанной программы позволяет определять значения текущих гидродинамических параметров водовоздушной смеси в заданных сечениях подъемной трубы и при заданном расходе воздуха  $Q_s$  [8].

В рассматриваемом случае для эрлифта с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м, диаметром  $D = 200$  мм и трех значений диаметров подающих труб  $d = 100, 125$  и  $150$  мм получены расходные характеристики газожидкостного подъемника (рис. 1 – пример характеристик эрлифта с  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм при значении  $d = 100$  мм) в виде  $Q_s = f(Q_s, \alpha)$  – кривые 1-5, а также зависимости изменения избыточного давления в смесителе  $p_{cm} = f(Q_s, \alpha)$  – кривые 1'-5', и гидростатического давления геометрического погружения смесителя  $p_{n.c} = f(Q_s, \alpha)$  – кривые 1''-5'', при постоянных геометрических погружениях  $h_1 = 20,0$  м;  $h_2 = 25,0$  м;  $h_3 = 30,0$  м;  $h_4 = 35,0$  м;  $h_5 = 40,0$  м, что обеспечивает значения относительных геометрических погружений  $\alpha_1 = 0,40$  м;  $\alpha_2 = 0,50$  м;  $\alpha_3 = 0,60$  м;  $\alpha_4 = 0,70$  м;  $\alpha_5 = 0,80$ . Принятый для анализа работы рассматриваемого эрлифта диапазон относительных погружений  $\alpha$  [ $\alpha = h/(H+h)$ ] обосновывается тем, что, как доказано в [9], наиболее энергоэффективная снарядная структура водовоздушной смеси имеет место в подъемной трубе при значениях  $\alpha \geq 0,40$ , а в соответствии с [10] энергорациональные диапазоны работы эрлифтов

с параметрами, аналогічними прийнятим к рассмотрению в данном случае, ограничиваются значениями  $\alpha \leq 0,80 \div 0,85$ .

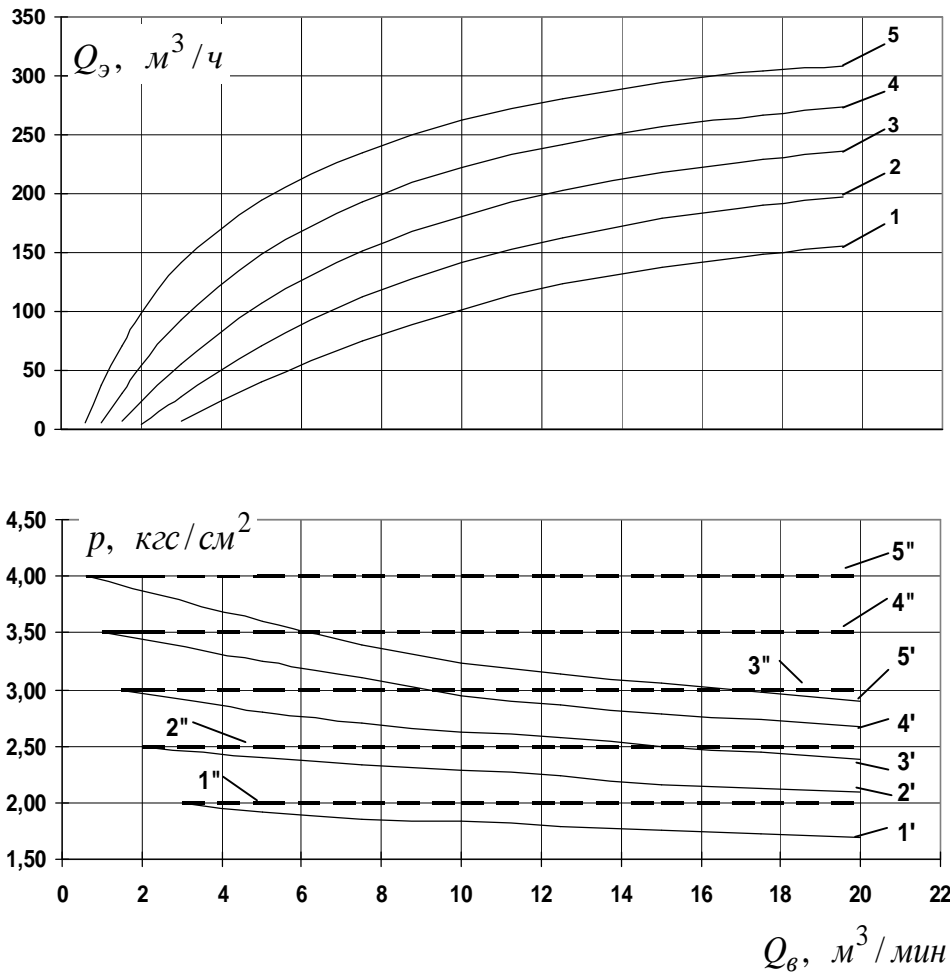


Рис. 1 – Расчетные характеристики эрлифта с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м, диаметром  $D = 200$  мм и подающей трубой диаметром  $d = 100$  мм: 1÷5 -  $Q_3 = f(Q_6)$ ; 1'÷5' -  $p_{см} = f(Q_6)$ ; 1''÷5'' -  $p_{н.с} = f(Q_6)$  [ $\alpha_1 = 0,40$  м;  $\alpha_2 = 0,50$  м;  $\alpha_3 = 0,60$  м;  $\alpha_4 = 0,70$  м;  $\alpha_5 = 0,80$ ]

Максимальным значением КПД  $\eta_{эр\text{ опт макс}} = 0,597$  в анализируемом диапазоне параметров характеризуется работа эрлифта  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 150$  мм в оптимальном режиме при относительном погружении смесителя  $\alpha = 0,80$  (рис. 2 – пример энергетической характеристики эрлифта с  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм при значении  $d = 150$  мм).

При построении энергетических характеристик газожидкостных подъемников (пример – рис. 2) значения КПД эрлифтов  $\eta_{эр}$  вычислены при действительных давлениях в смесителе, то есть с учетом потерь напора в подающей трубе [11].

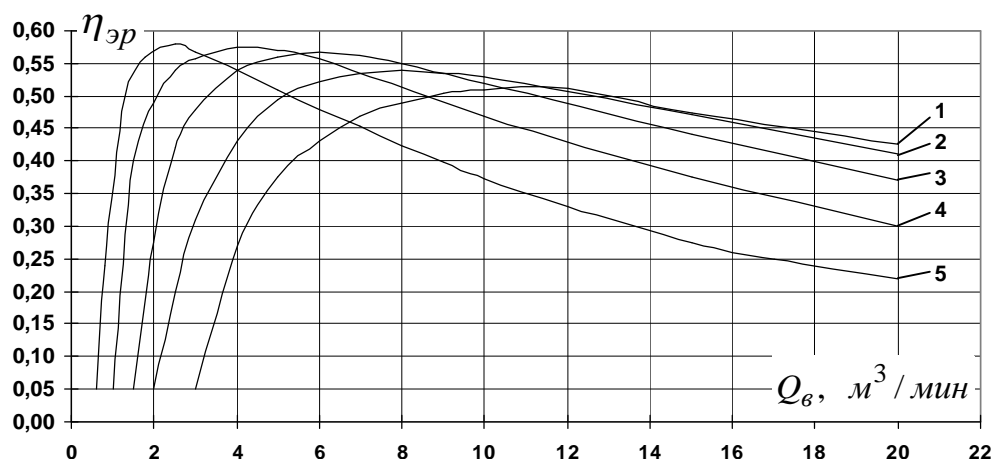


Рис. 2 – Характеристики КПД  $\eta_{эр} = f(Q_в)$  эрлифта  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 150$  мм [ $\alpha_1 = 0,40$  м;  $\alpha_2 = 0,50$  м;  $\alpha_3 = 0,60$  м;  $\alpha_4 = 0,70$  м;  $\alpha_5 = 0,80$ ]

Приняв, что энергетически допустимыми режимами работы эрлифта являются режимы со значением минимально допустимого КПД  $\eta_{эр доп мин} = 0,8 \cdot \eta_{эр опт макс} = 0,8 \cdot 0,597 = 0,478$ , определив параметры работы эрлифта при принятых значениях КПД  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  (табл. 2) и нанеся значения этих параметров на графики расходных характеристик эрлифтов (кривые 6 и 8, рис. 3), получена энергетически допустимая зона эксплуатации газожидкостного подъемника (рис. 3 – пример построения зоны энергетически допустимых режимов работы эрлифта  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100$  мм). На эти же графики нанесены кривая 7, соответствующая параметрам работы эрлифта в оптимальном режиме при  $\eta_{эр} = \eta_{эр опт}$ , и прямые 9, 10 и 11 минимально допустимых подач эрлифта  $Q_{э кр} = const$ , обеспечивающих потребные транспортные скорости в подающей трубе  $w_{н.т}$  (в соответствии с данными табл. 1).

Таким образом, режимы энергетически допустимо-возможной эксплуатации эрлифта определяются зоной (рис. 3), ограниченной: в нижней части – прямой (прямые 9, 10 или 11)  $Q_{э кр} = const$  (значение  $Q_{э кр}$  определяется потребной величиной транспортной скорости в подающей трубе  $w_{н.т}$ ) или графической зависимостью (кривая 6)  $Q_{э восх} = f(Q_в восх)$  при значении  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  на восходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_в)$  - если эта зависимость располагается на графике выше прямой  $Q_{э кр} = const$ ; с левой стороны – расходной характеристикой эрлифта (кривая 5)  $Q_э = f(Q_в)$  при максимально целесообразном (возможном) относительном погружении  $\alpha_5 = 0,80$ ; с правой стороны - расходной характеристикой эрлифта (кривая 1)  $Q_э = f(Q_в)$  при

минимально допустимом (целесообразном) относительном погружении  $\alpha_1 = 0,40$ ; в верхней части – графической зависимостью (кривая 8)  $Q_{э\text{ нисх}} = f(Q_{э\text{ восх}})$  при значении  $\eta_{эр\text{ доп мин}} = 0,478$  на нисходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_{э})$ .

Таблица 2 – Параметры работы эрлифта  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм со значением минимально допустимого КПД  $\eta_{эр\text{ доп мин}} = 0,478$

Относительное погружение смесителя $\alpha$	Диаметр подающей трубы $d$ , мм	Параметры работы эрлифта при значении $\eta_{эр\text{ доп мин}} = 0,478$ :			
		на восходящей ветви характеристики $\eta_{эр} = f(Q_{э})$ :		на нисходящей ветви характеристики $\eta_{эр} = f(Q_{э})$ :	
		расход воздуха $Q_{э\text{ восх}}$ , м <sup>3</sup> /мин	подача $Q_{э\text{ восх}}$ , м <sup>3</sup> /ч	расход воздуха $Q_{э\text{ нисх}}$ , м <sup>3</sup> /мин	подача $Q_{э\text{ нисх}}$ , м <sup>3</sup> /ч
0,400	100	7,96	81,3	11,25	112,9
0,500	100	4,90	69,3	11,44	154,4
0,600	100	3,30	64,8	9,33	173,9
0,700	100	2,19	62,5	6,47	176,1
0,800	100	1,31	60,2	3,56	158,2
0,400	125	7,19	74,7	13,90	142,0
0,500	125	4,70	67,0	13,63	188,8
0,600	125	3,23	63,8	11,52	220,0
0,700	125	2,15	61,5	8,50	235,2
0,800	125	1,24	57,2	5,07	226,7
0,400	150	7,03	73,5	14,90	154,1
0,500	150	4,66	66,7	14,64	206,2
0,600	150	3,24	64,3	12,59	244,6
0,700	150	2,17	62,1	9,58	269,1
0,800	150	1,25	57,7	5,96	269,4

Учитывая, что для подавляющего большинства конструктивных и технологических вариантов применяемых в промышленности эрлифтов, количественный анализ работы которых выполнен, нижней границей зоны допустимо-возможной эксплуатации является прямая  $Q_{э\text{ кр}} = \text{const}$ , соответствующая минимально-допустимой транспортной скорости в подающей трубе (табл. 1), распространим это положение в дальнейших исследованиях для всех установок, заведомо превышая в некоторых случаях возможный диапазон подач газожидкостных подъемников традиционной конструкции.

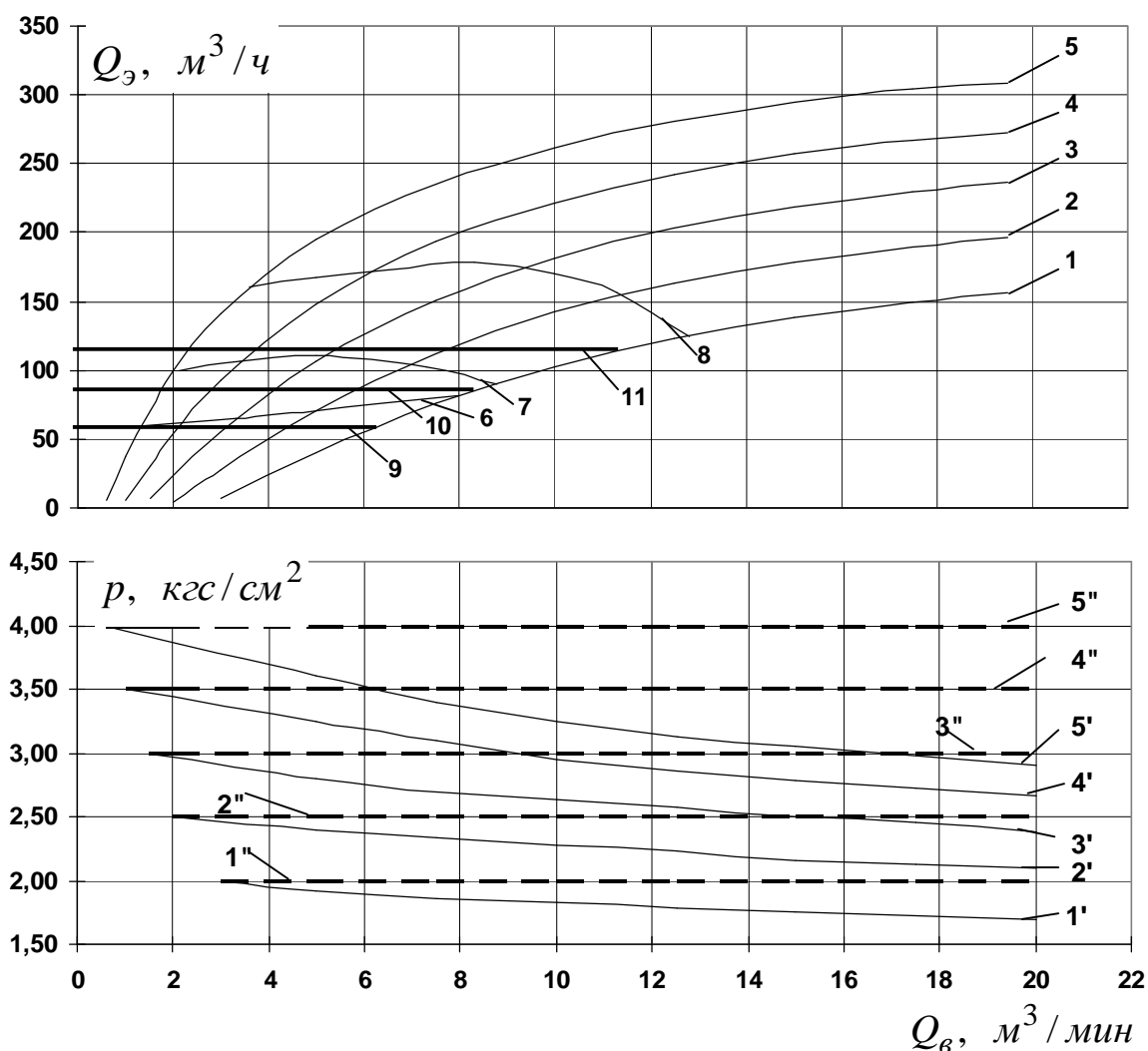


Рис. 3 – Энергетически допустимо-возможная зона эксплуатации эрлифта с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м, диаметром  $D = 200$  мм и подающей трубой диаметром  $d = 100$  мм: 1÷5 –  $Q_э = f(Q_в)$ ; 1'÷5' –  $p_{см} = f(Q_в)$ ; 1"÷5" –  $p_{н.с} = f(Q_в)$ ; 6 –  $Q_э_{восх} = f(Q_в_{восх})$  при значении  $\eta_{эр\text{ доп мин}} = 0,478$  на восходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_в)$ ; 7 –  $Q_э_{опт} = f(Q_в_{опт})$  при значении  $\eta_{эр} = \eta_{эр\text{ опт}}$ ; 8 –  $Q_э_{нисх} = f(Q_в_{нисх})$  при значении  $\eta_{эр\text{ доп мин}} = 0,478$  на нисходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_в)$ ; 9 –  $Q_э = Q_{э\text{ кр}} = 56,5$   $\text{м}^3/\text{ч}$  ( $w_{н.т} = 2,0$  м/с); 10 –  $Q_э = Q_{э\text{ кр}} = 84,8$   $\text{м}^3/\text{ч}$  ( $w_{н.т} = 3,0$  м/с); 11 –  $Q_э = Q_{э\text{ кр}} = 113,0$   $\text{м}^3/\text{ч}$  ( $w_{н.т} = 4,0$  м/с); [ $\alpha_1 = 0,40$  м;  $\alpha_2 = 0,50$  м;  $\alpha_3 = 0,60$  м;  $\alpha_4 = 0,70$  м;  $\alpha_5 = 0,80$ ]

Тогда возможная степень увеличения подачи эрлифта  $k_Q$  с рассматриваемой схемой воздухообеспечения при заданном расходе воздуха определяется как отношение максимально возможной подачи эрлифта  $Q_{э\text{ макс}}^{\text{возм}}$  в пределах границ зоны допустимо-возможной эксплуатации подъемника к подаче  $Q_{э\text{ кр}}$ , обеспечивающей минимально допустимую транспортную скорость в подающей трубе  $w_{н.т}$



$$k_Q = \frac{Q_{\text{э макс}}^{\text{возм}}}{Q_{\text{э кр}}} \quad (2)$$

Вычисленная в соответствии с (2) степень увеличения подачи рассматриваемого эрлифта с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м и диаметром  $D = 200$  мм при работе в энергорациональной зоне эксплуатации в зависимости от потребных транспортных скоростей в подающей трубе  $w_{n.m}$  изменяется в диапазонах: при значении диаметра подающей трубы  $d = 100$  мм -  $k_Q = 1,59 \div 3,18$  (при расходе воздуха  $Q_{\text{в}} = 8$  м<sup>3</sup>/мин); при значении диаметра подающей трубы  $d = 125$  мм -  $k_Q = 1,32 \div 2,64$  (при расходе воздуха  $Q_{\text{в}} = 8$  м<sup>3</sup>/мин); при значении диаметра подающей трубы  $d = 150$  мм -  $k_Q = 1,06 \div 2,12$  (при расходе воздуха  $Q_{\text{в}} = 6$  м<sup>3</sup>/мин) (табл. 3). Таким образом, уменьшение диаметра подающей трубы при прочих равных условиях увеличивает степень увеличения подачи эрлифта  $k_Q$ , однако абсолютные значения подач при этом существенно уменьшаются, например от  $Q_{\text{э макс}}^{\text{возм}} = 269,2$  м<sup>3</sup>/ч при значении диаметра подающей трубы  $d = 150$  мм до  $Q_{\text{э макс}}^{\text{возм}} = 179,4$  м<sup>3</sup>/ч при значении диаметра подающей трубы  $d = 100$  мм, то есть в  $\approx 1,5$  раза, что далеко не всегда приемлемо.

Существенно увеличить абсолютное значение максимально возможной подачи эрлифта  $Q_{\text{э макс}}^{\text{возм}}$  и повысить значение степени увеличения подачи  $k_Q$  при прочих равных условиях возможно в эрлифте с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы [12]. Такой эрлифт позволяет при увеличении притоков жидкости (гидросмеси) и, следовательно, требуемой подачи, сохранить значение давления в смесителе  $p_{\text{см}}$  на уровне значения давления, имеющего место при базовом притоке.

Рассмотрим решение этой задачи на примере эрлифта с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м, диаметром  $D = 200$  мм и подающей трубой диаметром  $d = 100$  мм при условии необходимости обеспечения в последней транспортной скорости  $w_{n.m} = 4,0$  м/с.

Базовым притоком для эрлифта с геометрическими параметрами  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100$  мм при значении транспортной скорости в подающей трубе  $w_{n.m} = 4,0$  м/с является величина  $Q_{\text{нр. б}} = 113,0$  м<sup>3</sup>/ч (табл. 1). Примем, что в эрлифте с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы при увеличении притока жидкости (гидросмеси)  $Q_{\text{нр}} > Q_{\text{нр. б}}$  давление в смесителе  $p_{\text{см}}$  не изменится и будет равно давлению в смесителе, имеющем место при подаче эрлифта  $Q_{\text{э}} = Q_{\text{нр. б}} = 113,0$  м<sup>3</sup>/ч. Значения давлений в сме-

сителе при подаче эрлифта  $Q_э = 113,0$  м<sup>3</sup>/ч и каждом из рассматриваемых величин относительных погружений  $\alpha = 0,40 \div 0,80$  возможно определить (табл. 4), используя полученные зависимости  $p_{см} = f(Q_э)$  (рис. 3).

Таблица 3 – Степень увеличения подачи  $k_Q$  эрлифта с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м, диаметром  $D = 200$  мм и подающими трубами  $d = 100, 125$  и  $150$  мм с воздухоподачей от источника пневмоэнергии неизменной производительности

Расход воздуха $Q_э$ , м <sup>3</sup> /мин	Максимально возможная подача $Q_э^{возм}$ $Q_э^{макс}$ , м <sup>3</sup> /ч	Минимально допустимая подача $Q_э_{кр}$ и степень увеличения подачи $k_Q$ эрлифта при значениях транспортных скоростей в подающей трубе $w_{н.м}$ :					
		$w_{н.м} = 2,0$ м/с		$w_{н.м} = 3,0$ м/с		$w_{н.м} = 4,0$ м/с	
		$Q_э_{кр}$ , м <sup>3</sup> /ч	$k_Q$	$Q_э_{кр}$ , м <sup>3</sup> /ч	$k_Q$	$Q_э_{кр}$ , м <sup>3</sup> /ч	$k_Q$
$D = 200$ мм, $d = 100$ мм							
2,0	99,6	56,5	1,76	84,8	1,17	-	-
4,0	160,8	56,5	2,85	84,8	1,90	113,0	1,42
6,0	172,8	56,5	3,06	84,8	2,04	113,0	1,53
8,0	<b>179,4</b>	56,5	<b>3,18</b>	84,8	<b>2,12</b>	113,0	<b>1,59</b>
10,0	171,6	56,5	3,04	84,8	2,02	113,0	1,52
12,0	138,6	56,5	2,45	84,8	1,63	118,6	1,17
14,0	-	-	-	-	-	-	-
$D = 200$ мм, $d = 125$ мм							
2,0	108,8	88,3	1,23	-	-	-	-
4,0	195,7	88,3	2,22	132,5	1,48	176,6	1,11
6,0	227,5	88,3	2,58	132,5	1,72	176,6	1,29
8,0	<b>233,2</b>	88,3	<b>2,64</b>	132,5	<b>1,76</b>	176,6	<b>1,32</b>
10,0	233,6	108,4	2,16	132,5	1,76	176,6	1,32
12,0	217,3	127,2	1,71	132,5	1,64	176,6	1,23
14,0	172,5	142,7	1,21	142,7	1,21	-	-
$D = 200$ мм, $d = 150$ мм							
2,0	-	-	-	-	-	-	-
4,0	210,3	127,2	1,65	190,8	1,10	-	-
6,0	<b>269,2</b>	127,2	<b>2,12</b>	190,8	<b>1,41</b>	254,3	<b>1,06</b>
8,0	268,0	127,2	2,11	190,8	1,40	254,3	1,05
10,0	268,0	127,2	2,11	190,8	1,40	254,3	1,05
12,0	255,7	131,0	1,95	190,8	1,34	254,3	1,01
14,0	218,8	147,6	1,48	190,8	1,15	-	-

Таблица 4 – Параметры работы эрлифта  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100$  мм при значении транспортной скорости в подающей трубе  $w_{n.m} = 4,0$  м/с и подаче  $Q_э = 113,0$  м<sup>3</sup>/ч

Относительное погружение смесителя $\alpha$	Расход воздуха $Q_в$ , м <sup>3</sup> /мин	Избыточное давление в смесителе $p_{см}$ , кгс/см <sup>2</sup>	КПД $\eta_{эр}$
0,400	11,27	1,855	0,478
0,500	7,59	2,344	0,514
0,600	5,29	2,833	0,530
0,700	3,62	3,333	0,532
0,800	2,29	3,843	0,521

Применив ту же, что и ранее, математическую модель рабочего процесса эрлифта со снарядной структурой водовоздушной смеси (1) и решив ее при условии  $p_{см} = const$  (в отличие от решения  $h = const$  при построении приведенных на рис. 1 расчетных характеристик), построим характеристики газожидкостного подъемника с постоянным давлением в смесителе и нанесем их (рис. 4) на выше полученные характеристики (рис. 3) с постоянным геометрическим погружением смесителя и выделенной допустимо-возможной зоной эксплуатации подъемника. Кривые 11-15 (рис. 4) являются графическим отображением расходных характеристик эрлифта  $Q_э = f(Q_в, \alpha)$  при условии  $p_{см} = const$ . Используя выше изложенную методику, на эти же характеристики нанесем графическую зависимость (кривая 16)  $Q_э_{нисх} = f(Q_в_{нисх})$  при значении  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  на нисходящих ветвях характеристик  $\eta_{эр} = f(Q_в)$  эрлифта с  $p_{см} = const$  (табл. 5), что позволит установить, в том числе, энергетически допустимо-возможную зону эксплуатации данного газожидкостного подъемника.

Из сравнения значений параметров работы эрлифтов  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100$  мм,  $w_{n.m} = 4,0$  м/с с постоянным геометрическим погружением смесителя  $h = const$  и постоянным давлением в смесителе  $p_{см} = const$  (табл. 6) следует, что степень увеличения подачи и, что в данном случае одно и то же, увеличение значений абсолютных подач предлагаемого эрлифта с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы в условиях воздухообеспечения от источников пневмоэнергии неизменной производительности превышает аналогичные показатели эрлифта традиционной конструкции в 1,25÷1,72 раза.

Аналогичные результаты получены и для эрлифтов с другими геометрическими параметрами -  $H+h = 20, 30, 40$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100, 150, 200$  мм.

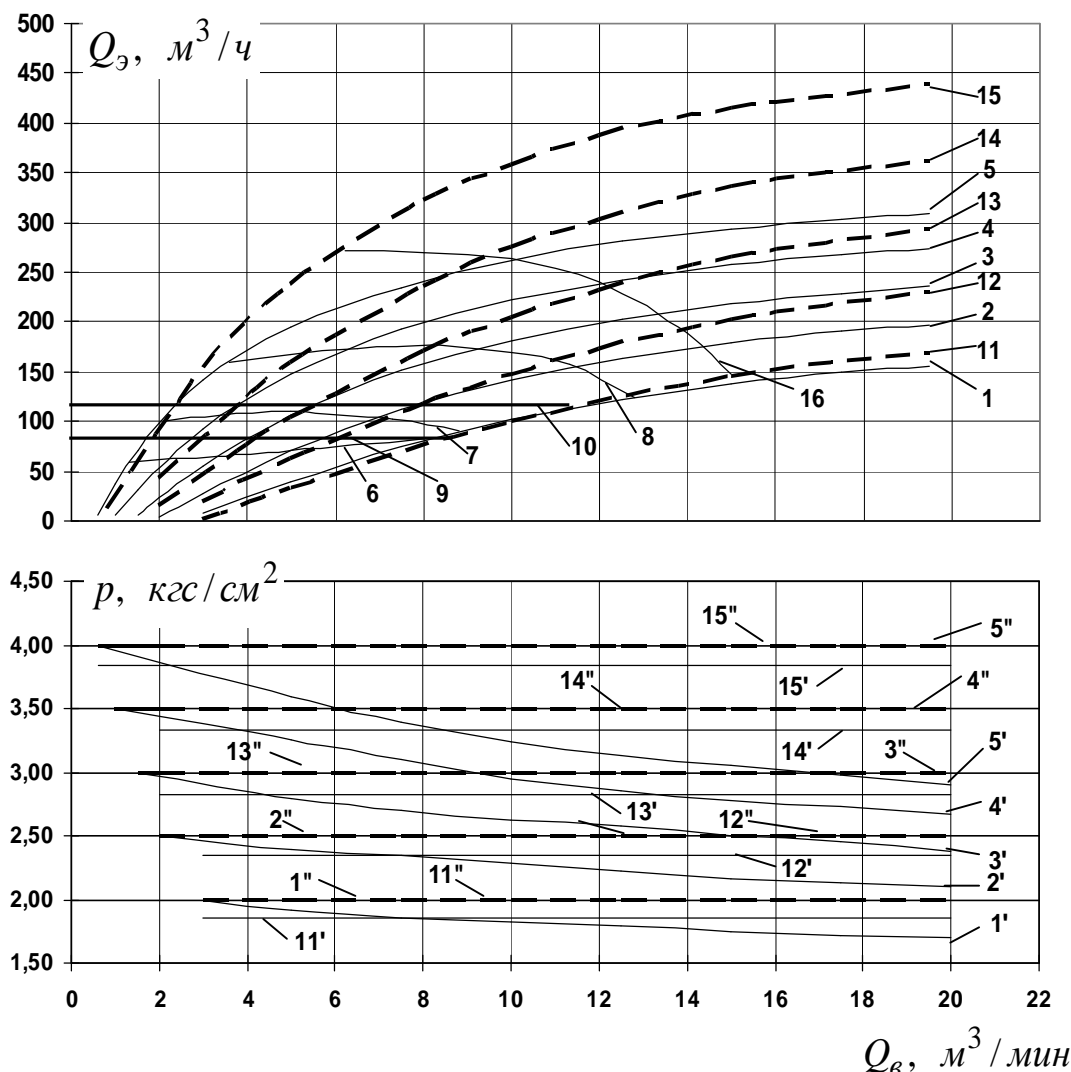


Рис. 4 – Энергетически допустимо-возможные зоны эксплуатации эрлифтов с подъемной трубой длиной  $H+h = 50$  м, диаметром  $D = 200$  мм и подающей трубой диаметром  $d = 100$  мм традиционной конструкции и конструкции с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы: 1÷5; 11-15 –  $Q_3 = f(Q_6)$ ; 1'÷5'; 11'-15' –  $p_{см} = f(Q_6)$ ; 1''÷5''; 11''-15'' –  $p_{н.с} = f(Q_6)$ ; 6 –  $Q_3_{восх} = f(Q_6_{восх})$  при значении  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  на восходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_6)$  эрлифта с  $h = const$ ; 7 –  $Q_3_{онт} = f(Q_6_{онт})$  при значении  $\eta_{эр} = \eta_{эр онт}$  эрлифта с  $h = const$ ; 8 –  $Q_3_{нисх} = f(Q_6_{нисх})$  при значении  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  на нисходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_6)$  эрлифта с  $h = const$ ; 9 –  $Q_3 = Q_3_{кр} = 84,8$  м<sup>3</sup>/ч ( $w_{н.м} = 3,0$  м/с); 10 –  $Q_3 = Q_3_{кр} = 113,0$  м<sup>3</sup>/ч ( $w_{н.м} = 4,0$  м/с); 16 –  $Q_3_{нисх} = f(Q_6_{нисх})$  при значении  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  на нисходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_6)$  эрлифта с  $p_{см} = const$  [ $\alpha_1 = 0,40$  м;  $\alpha_2 = 0,50$  м;  $\alpha_3 = 0,60$  м;  $\alpha_4 = 0,70$  м;  $\alpha_5 = 0,80$ ]

Таблица 5 – Параметры работы эрлифта  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм  $d = 100$  мм со значением минимально допустимого КПД  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$ , на нисходящей ветви характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_v)$  газожидкостного подъемника с  $p_{см} = const$

Относительное погружение смесителя $\alpha$	Расход воздуха $Q_{в нисх}$ , м <sup>3</sup> /мин	Подача $Q_{э нисх}$ , м <sup>3</sup> /ч
0,400	11,50	115,2
0,500	13,95	193,2
0,600	12,25	236,1
0,700	9,48	265,8
0,800	6,01	272,0

Обеспечение постоянного давления в смесителе  $p_{см} = const$  при увеличении подачи эрлифта с источниками пневмоэнергии неизменной производительности, позволяет увеличить подачу в сравнении с эрлифтом с постоянным геометрическим погружением смесителя  $h = const$ , на примере эрлифта с  $H+h = 20, 30, 40$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100, 150, 200$  мм,  $\alpha = 0,4 \div 0,8$  до 2,22 раз (рис. 5).

Таблица 6 – Сравнение степеней увеличения подачи  $k_Q$  эрлифтов  $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100$  мм,  $w_{н.м} = 4,0$  м/с с постоянным геометрическим погружением смесителя  $h = const$  и постоянным давлением в смесителе  $p_{см} = const$  с воздухомоснабжением от источников пневмоэнергии неизменной производительности

Расход воздуха $Q_v$ , м <sup>3</sup> /мин	Минимально допустимая подача $Q_{э кр}$ , м <sup>3</sup> /ч	Максимально возможная подача $Q_{э макс}^{возм}$ и степень увеличения подачи $k_Q$ эрлифта при:				Отношение степеней увеличения подачи $k_{Qp} / k_{Qh}$
		$h = const$		$p_{см} = const$		
		$Q_{э макс}^{возм}$ , м <sup>3</sup> /ч	$k_{Qh}$	$Q_{э макс}^{возм}$ , м <sup>3</sup> /ч	$k_{Qp}$	
2,0	-	99,6	-	-	-	-
4,0	113,0	160,8	1,42	200,6	1,78	1,25
6,0	113,0	172,8	1,53	271,7	2,40	1,57
8,0	113,0	179,4	1,59	269,2	2,38	1,50
10,0	113,0	171,6	1,52	263,7	2,33	1,54
12,0	113,0	138,6	1,17	241,5	2,01	1,72
14,0	113,0	-	-	189,0	1,37	-

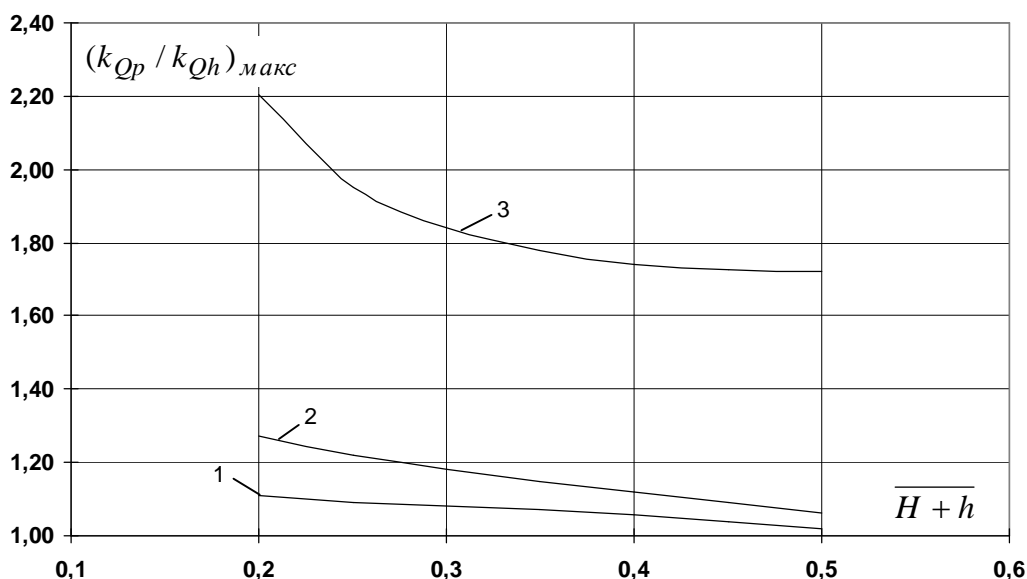


Рис. 5 - Залежність  $(k_{Qp} / k_{Qh})_{\max} = f(\overline{H+h})$  ерлифтною установки с источником пневмоэнергии неизменной производительности ( $D = 200$  мм,  $\alpha = 0,4 \div 0,8$ ): 1 – при  $d = 200$  мм; 2 - при  $d = 150$  мм; при  $d = 100$  мм (базисное значение высоты подъемной трубы  $H+h = 100$  м)

**Выводы и направления дальнейших исследований.** В эрлифтных установках с источниками пневмоэнергии неизменной производительности и подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы степень увеличения подачи в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси) превышает аналогичный показатель эрлифта традиционной конструкции (в частности, для  $H+h = 20, 30, 40$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100, 150, 200$  мм,  $\alpha = 0,4 \div 0,8$ ) до 2,22 раза при тех же показателях энергоэффективности работы установки. Увеличить значение степени увеличения подачи эрлифта предлагаемой конструкции возможно обоснованием энергетически оптимальной вертикальной координаты сечения подъемной трубы для подвода дополнительного притока жидкости (гидросмеси).

#### Список литературы

1. Кононенко А.П. О согласовании подачи эрлифта с притоком жидкости (гидросмеси) / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Промислова гідравліка і пневматика. – 2009. – № 4 (26). – С. 32 - 38.
2. Кононенко А.П. Теоретические диапазоны возможных подач эрлифтов с блочным воздухомоснабжением центробежными нагнетателями / А.П. Кононенко, В.В. Чернюк, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – 2011. – Вип. 22(195). – С. 116-134.
3. Кононенко А.П. Подача эрлифтов с блочным воздухомоснабжением центробежными нагнетателями / А.П. Кононенко, В.В. Чернюк, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – 2012. – Вип. 23 (126). – С. 110-123.

4. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко – М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с.
5. Шевченко В.Ф. Исследование и разработка узла подвода пневматической энергии в эрлифте: дисс. ... канд. техн. наук. – Донецк: ДПИ, 1974. – 183 с.
6. Кононенко А.П. Опыт применения эрлифтных установок в технологических системах ТЭС / А.П. Кононенко, В.И. Мизерный, Л.Л. Глухман // Энергетика та електрифікація. – 2006. – №11. – С. 8-12.
7. Кононенко А.П. Модель рабочего процесса эрлифта со снарядной структурой водовоздушного потока / А.П. Кононенко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – №1 (11). – С. 34-37.
8. Бойко Н.Г. Расчетные характеристики эрлифта со снарядной структурой водовоздушной смеси / Н.Г. Бойко, А.П. Кононенко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна. – 2006. – Випуск 104. – С. 17-29.
9. Кононенко А.П. Структуры двухфазных потоков в подъемных трубах эрлифтов / А.П. Кононенко // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки. – 2005. – №12. – С. 38-48.
10. Кононенко А.П. Оптимизация параметров газожидкостных подъемников / А.П. Кононенко, Т.А. Устименко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2010. – № 3 (29). – С. 51-53.
11. Кононенко А.П. Энергетическая эффективность эрлифта / А.П. Кононенко // Научный журнал "Вестник Донецкого университета". Серия А. "Естественные науки". – 2006. – №1. – Ч. 1. – С. 205-212.
12. Кононенко А.П. Модель рабочего процесса эрлифта в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси) / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – 2008. – Вип. 16(142). – С. 149-158.

*Стаття надійшла до редакції 18.09.2012*

***А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин. Донецький національний технічний університет***

**Подача ерліфтних установок з джерелами пневмоенергії незмінної продуктивності**

*Обґрунтовані енергетично допустимо-можливі зони експлуатації ерліфтів з джерелами пневмоенергії незмінної продуктивності та ступінь підвищення подачі газорідних підйомників традиційної конструкції та конструкції із забезпеченням постійності тиску у змішувачі.*

**Ключові слова:** ерліфт, ступінь підвищення подачі, пневмонагнітач, енергетично допустимо-можливі зони, змінний приплив рідини (гідросуміші)

***A. Kononenko, M. Karpushin. Donetsk National Technical University***

**Supply of Airlift Units Having Pneumatic Energy Sources of Continued Performance.**

*The paper discusses the possible areas of using airlifts with pneumatic energy sources of continued performance. We consider the degree of increasing the supply of gas-liquid elevators, which have traditional construction or the construction providing constant pressure in the mixer.*

**Keywords:** airlift, degree of supply increase, performance.