

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА СТРУКТУРЫ ВОДОВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ЭРЛИФТА

А.П. Кононенко, д-р. техн. наук, профессор;

А.Г. Гусак, канд. техн. наук, доцент*

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк;

**Сумский государственный университет, г. Сумы*

Приведено экспериментальное подтверждение зависимости энергетической эффективности газожидкостных подъемников от вида структуры водовоздушных потоков в вертикальных подъемных трубах.

1. ПРОБЛЕМА И ЕЕ СВЯЗЬ С НАУЧНЫМИ И ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАЧАМИ

Относительно низкая энергетическая эффективность эрлифтов, по сравнению с гидродинамическими и объемными насосами, требует выявления средств и методов ее повышения.

Выполненные в последнее время теоретические исследования рабочих процессов газожидкостных подъемников позволили количественно установить зависимость энергетического коэффициента полезного действия эрлифтов от режимов и характера движения водовоздушной смеси – структуры потока - в вертикальных подъемных трубах, что, однако, требует опытной проверки.

Поэтому экспериментальное подтверждение влияния вида структуры газожидкостных потоков в подъемниках и его значимости на энергетическую эффективность работы эрлифтов является актуальной научной и практической задачей.

2. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Работа газожидкостных подъемников сопровождается изменением вида структуры двухфазных потоков в вертикальных подъемных трубах в зависимости от ряда значимых факторов [1]. Разработанные математические модели рабочих процессов эрлифтов со снарядной [2], эмульсионной [3] и кольцевой [4] водовоздушными смесями позволили, в том числе, выполнить анализ распределения давлений и мощностей двухфазных потоков по затратным составляющим [5-7]. Согласно полученных расчетных данных фактором, во многом определяющим энергетическую эффективность газожидкостного подъемника, является вид имеющей место в вертикальной подъемной трубе структуры водовоздушного потока. Сопоставление аналитических данных позволяет выделить, как наиболее энергетически эффективную, работу эрлифта со снарядной структурой газожидкостной смеси. Несколько ниже энергетическая эффективность эрлифтов с эмульсионной структурой и наименьшая - подъемников с кольцевой структурой водовоздушной смеси.

Однако теоретические данные относительно энергетической приоритетности одного вида структуры двухфазного потока над другим при работе газожидкостного подъемника требуют экспериментального подтверждения.

3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Доказать, используя экспериментальные данные, правомерность теоретических выводов о зависимости энергетической эффективности

газожидкостных подъемников от вида структуры водовоздушных потоков в вертикальных подъемных трубах.

4. ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Опытное подтверждение влияния вида структуры водовоздушного потока на энергоемкость эрлифта было выполнено в объеме экспериментальных исследований работы эрлифтов с подъемными трубами диаметрами $D = 150$ и 353 мм и длиной $H+h = 11,7$ м (где H – высота подъема эрлифта, h – геометрическое погружение смесителя) и изменяемыми диаметрами подающих труб d (для эрлифта с $D = 150$ мм использовались подающие трубы с $d = 30, 49, 80$ и 105 мм, для эрлифта с $D = 353$ мм – подающие трубы с $d = 80, 105, 140$ и 205 мм) на опытной установке, построенной на полигоне Донецкого политехнического института [8]. Изменение диаметров подающих труб d при прочих равных конструктивных условиях установки позволяло, в том числе, изменять вид структуры водовоздушного потока в подъемных трубах эрлифтов.

Анализ экспериментальных данных выполнен в двух вариантах:

– сравнение энергетической эффективности подъемников в зависимости от вида структуры газожидкостных потоков и потребных расходов воздуха для обеспечения одной и той же подачи эрлифта с разными диаметрами подающих труб при одинаковых относительных (геометрических) погружениях смесителей;

– сравнение энергетической эффективности подъемников в зависимости от вида структуры газожидкостных потоков и потребных расходов воздуха для обеспечения одной и той же подачи эрлифта с разными диаметрами подающих труб при одинаковых относительных динамических погружениях смесителей, то есть при одинаковых давлениях в смесителе.

В первом случае использованы экспериментальные расходные характеристики эрлифта с подъемной трубой диаметром $D = 353$ мм, высотой $H+h = 11,7$ м, геометрическим погружением смесителя $h = 3$ м при диаметрах подающих труб $d = 80, 105,$ и 140 мм с постоянной их длиной $l = 700$ мм (рис. 1, кривые 1, 2, 4).

Расчетное сопротивление подающей трубы диаметром $d = 80$ мм, из числа рассматриваемых, имеет максимальное значение $A = 3820 \text{ с}^2/\text{м}^5$ [9]. Для обеспечения эрлифтом с $d = 80$ мм подачи $Q_{\text{э}} = 50,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,0139 \text{ м}^3/\text{с}$) необходим максимальный перепад давлений на подающей трубе $\Delta p_{n.m} = p_{nc} - p_{cm} = \rho'gh - p_{cm} = 0,073 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ($7,16 \text{ кПа}$), а следовательно наименьшее давление в смесителе $p_{cm} = 0,227 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ($22,27 \text{ кПа}$) (рис. 1, кривые 1, 1' и 1", здесь p_{nc} – гидростатическое давление геометрического погружения смесителя). Потребный расход воздуха составляет $Q_{\text{в}} = 47,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,787 \text{ м}^3/\text{с}$). Наиболее вероятно, что именно имеющая место структура двухфазного потока в подъемной трубе формирует для рассматриваемого варианта работы эрлифта минимальное давление в смесителе при максимальном расходе воздуха.

Обеспечение эрлифтом подачи $Q_{\text{э}} = 50,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,0139 \text{ м}^3/\text{с}$) при применении подающей трубы диаметром $d = 105$ мм предполагает увеличение давления в смесителе до величины $p_{cm} = 0,277 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ($27,17 \text{ кПа}$) (рис. 1, кривые 2, 2' и 2"). Перепад давлений на подающей трубе уменьшается до $\Delta p_{n.m} = p_{nc} - p_{cm} = \rho'gh - p_{cm} = 0,023 \text{ кг}/\text{см}^2$ ($2,26 \text{ кПа}$), однако более значимо снижается сопротивление подающей трубы до величины $A = 1210 \text{ с}^2/\text{м}^5$ [9]. Требуемый расход воздуха составляет величину $Q_{\text{в}} = 26,6 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,443 \text{ м}^3/\text{с}$), что меньше расхода

воздуха эрлифтом с $d = 80$ мм. Уменьшается газосодержание двухфазного потока с изменением его структуры.

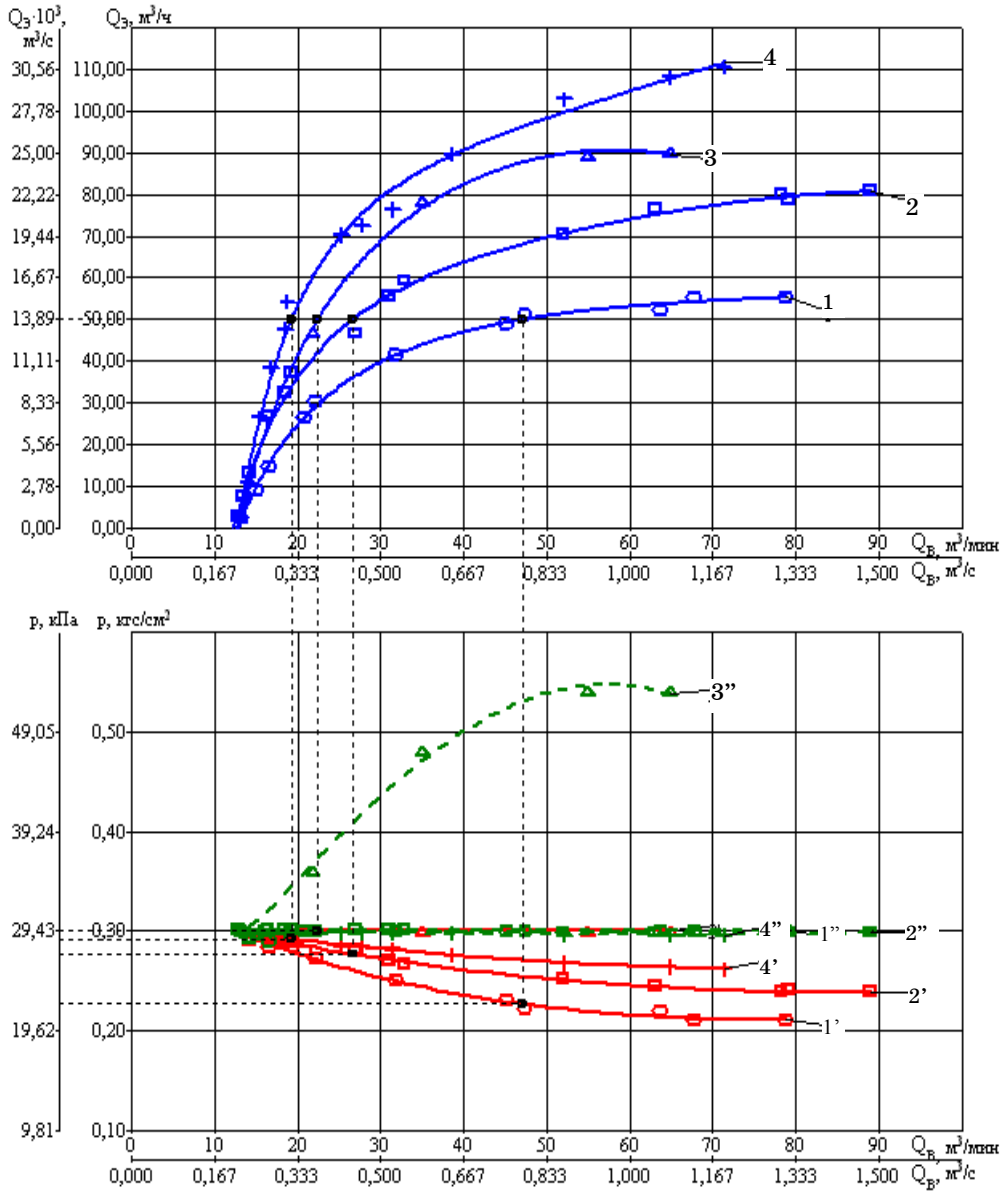


Рисунок 1 - Характеристики эрлифтов $H+h = 11,7$ м, $D = 353$ мм, $h = 3$ м:
 1 - $d = 80$ мм; 2 - $d = 105$ мм; 4 - $d = 140$ мм и подъемной трубы эрлифта при
 $p_{см} = 0,30$ кгс/см² (29,43 кПа): 3 - $d = 80$ мм [1 - 4 - $Q_a = f(Q_a)$,
 1' - 4' - $p_{см} = f(Q_a)$, 1'' - 4'' - $p_{nc} = f(Q_a)$]

У эрлифта с подающей трубой $d = 140$ мм при подаче $Q_a = 50,0$ м³/ч (0,0139 м³/с) давление в смесителе $p_{см} = 0,292$ кгс/см² (28,65 кПа) (рис. 1, кривые 4, 4' и 4''), перепад давлений на подающей трубе $\Delta p_{п.т} = p_{nc} - p_{см} = 0,008$ кгс/см² (0,78 кПа). При сопротивлении подающей трубы $A = 364$ с²/м⁵ [9] потребный расход воздуха составляет

$Q_в = 19,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,320 \text{ м}^3/\text{с}$), т.е. наименьший из рассмотренных. Газосодержание водовоздушного потока в данном варианте работы эрлифта также наименьшее.

Представляет также интерес сравнение приведенных характеристик эрлифта с расходной характеристикой подъемной трубы этого же эрлифта с одним из значений применяемых диаметров подающей трубы d и с постоянным давлением в смесителе $p_{см}$, равным гидростатическому давлению геометрического погружения смесителей $p_{см} = p_{н.с} = \rho'gh$ вышерассмотренных подъемников.

Значения точек расходной характеристики $Q_з = f(Q_в)$ подъемной трубы с диаметром подающей трубы $d = 80 \text{ мм}$ и постоянным давлением в смесителе $p_{см} = 0,3 \text{ кгс/см}^2$ ($29,43 \text{ кПа}$) (рис. 1, кривая 3) получены из семейства характеристик эрлифта с $d = 80 \text{ мм}$ при геометрических погружениях $h = 3,0, 3,6, 4,8$ и $5,4 \text{ м}$ [8]. Кривая 3" отражает потребный характер изменения геометрического погружения эрлифта h с $d = 80 \text{ мм}$ для обеспечения постоянного давления в смесителе $p_{см} = 0,3 \text{ кгс/см}^2$ ($29,43 \text{ кПа}$).

Согласно полученной характеристики подъемной трубы эрлифта с диаметром подающей трубы $d = 80 \text{ мм}$ и постоянным давлением в смесителе $p_{см} = 0,3 \text{ кгс/см}^2$ ($29,43 \text{ кПа}$) (рис. 1, кривые 3, 3' и 3") при подаче $Q_з = 50,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,0139 \text{ м}^3/\text{с}$) перепад давлений на подающей трубе $\Delta p_{н.т} = p_{н.с} - p_{см} = 0,072 \text{ кгс/см}^2$ ($7,06 \text{ кПа}$). При сопротивлении подающей трубы $A = 3820 \text{ с}^2/\text{м}^5$ [9] расход воздуха составляет $Q_в = 22,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,372 \text{ м}^3/\text{с}$), то есть меньше, чем у эрлифтов с подающими трубами $d = 80$ и 105 мм и геометрическим погружением смесителя $h = 3 \text{ м}$, но больше, чем у эрлифта с подающей трубой $d = 140 \text{ мм}$ и тем же геометрическим погружением смесителя $h = 3 \text{ м}$.

Таким образом, оценивая эффективность работы подъемника значением удельного расхода воздуха q , самым совершенным следует считать эрлифт с подающей трубой диаметром $d = 140 \text{ мм}$. Более высоких расходов воздуха, при прочих равных условиях, требуют эрлифты с подающими трубами диаметрами соответственно $d = 105$ и 80 мм . Промежуточное, между эрлифтами с $d = 105$ и 140 мм , занимает по эффективности подъемник с $d = 80 \text{ мм}$ при постоянном давлении в смесителе $p_{см} = 0,3 \text{ кгс/см}^2$ ($29,43 \text{ кПа}$).

Как следует из графика кризисных состояний двухфазных потоков [10] (рис. 2), в эрлифте с $d = 80 \text{ мм}$ и $h = 3 \text{ м}$ реализуется устойчивая эмульсионная структура, в эрлифте с $d = 105 \text{ мм}$ эмульсионная структура близка к переходу в снарядную, а в эрлифте с $d = 140 \text{ мм}$ имеет место снарядная структура. В эрлифте с $d = 80 \text{ мм}$ при постоянном давлении в смесителе $p_{см} = 0,3 \text{ кгс/см}^2$ ($29,43 \text{ кПа}$) наблюдается кризисное состояние – переход снарядной структуры в эмульсионную.

Следовательно, экспериментальные данные подтверждают выводы о энергетической приоритетности структур водовоздушных потоков в подъемных трубах эрлифтов, полученные теоретическим путем [5-7].

Как известно [11-12], затрачиваемая в эрлифте мощность определяется не только расходом воздуха $Q_в$, но и его давлением, равным давлению в смесителе $p_{см}$ (при принятом виде процесса изменения состояния газообразного рабочего тела в подъемной трубе).

Поэтому более достоверно демонстрируют влияние структуры водовоздушного потока на энергетическую эффективность лифтирования жидкости графические зависимости, представленные в виде характеристик эрлифтов с одинаковыми диаметрами D и длинами $H+h$

подъемных труб и разными диаметрами подающих труб d при одинаковой и постоянной подаче $Q_э$.

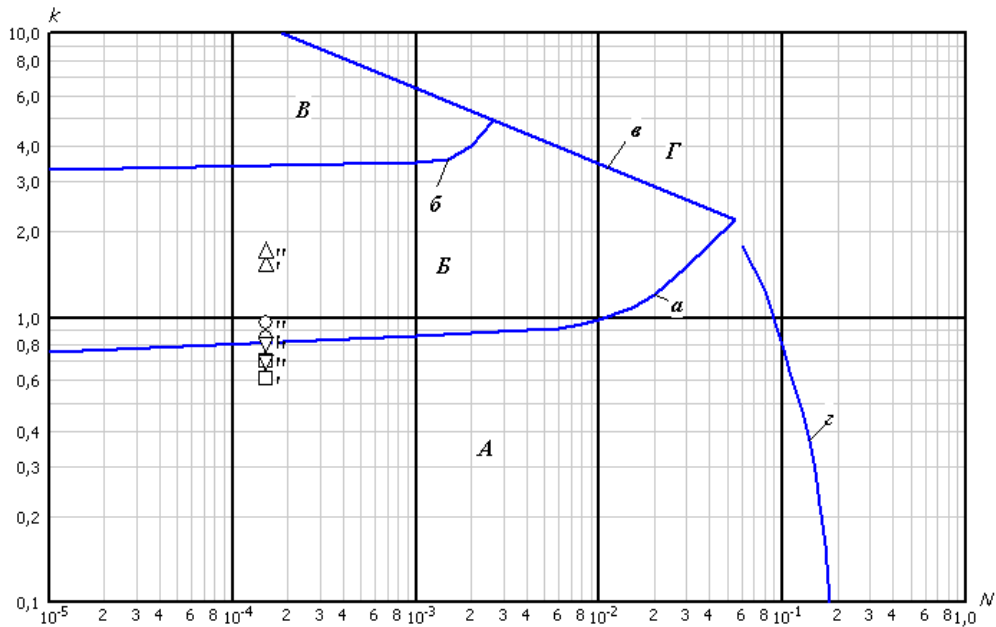


Рисунок 2 - Вид структур водовоздушных потоков в подъемных трубах эрлифтов $D = 353$ мм, $H+h = 11,7$ м при $Q_э = 50,0$ м³/ч (0,0139 м³/с):

Δ - $d = 80$ мм, \circ - $d = 105$ мм, \square - 140 мм - $h = 3$ м;

∇ - 80 мм - $p_{см} = 0,30$ кгс/см² (29,43 кПа)

(' - вход в трубу, " - выход из трубы;

области: А - снaрyжняя структура; Б - эмульсионная структура;

В - кольцевая структура; Г - диспергированная структура газожидкостных потоков)

Для получения таких зависимостей вычислены расход воздуха $Q_в$, давление в смесителе $p_{см}$ и гидростатическое давление геометрического погружения смесителя $p_{нс}$ при подачах $Q_э = 9,0$ м³/ч (0,0025 м³/с) и $Q_э = 15,0$ м³/ч (0,0042 м³/с) для эрлифта с подъемной трубой $D = 150$ мм, $H+h = 11,7$ м и подающими трубами $d = 30, 49, 80$ и 105 мм на восходящей ветви расходной характеристики и при подачах $Q_э = 9,0$ м³/ч (0,0025 м³/с), $Q_э = 15,0$ м³/ч (0,0042 м³/с) и $Q_э = 18,0$ м³/ч (0,0050 м³/с) и подающих трубах $d = 30, 49, 80$ и 105 мм на нисходящей ветви расходной характеристики [8]. Аналогичные вычисления выполнены при подачах $Q_э = 40,0$ м³/ч (0,0111 м³/с) и $Q_э = 80,0$ м³/ч (0,0222 м³/с) для эрлифта с подъемной трубой $D = 353$ мм, $H+h = 11,7$ м и подающими трубами $d = 80, 105, 140$ и 205 мм на восходящей ветви расходной характеристики [8].

По вычисленным данным построены графические расходные характеристики подъемника $Q_э = f(Q_в)$ при $Q_э = idem$ и зависимости давления в смесителе $p_{см} = f(Q_в)$ для эрлифтов с одним и тем же диаметром подъемной трубы D и разными диаметрами подающих труб d (пример - рис. 3). Зависимости гидростатических давлений геометрических погружений смесителей $p_{нс} = f(Q_в)$ на рис. 3 не приведены во избежание его существенного загромождения. Для построенных зависимостей вычислены расходы воздуха $Q_в$ при одних и тех же давлениях в смесителе $p_{см}$. Значения полученных

гидродинамических параметров на восходящей ветви расходной характеристики приведены в таблице 1, на нисходящей ветви расходной характеристики - в таблице 2.

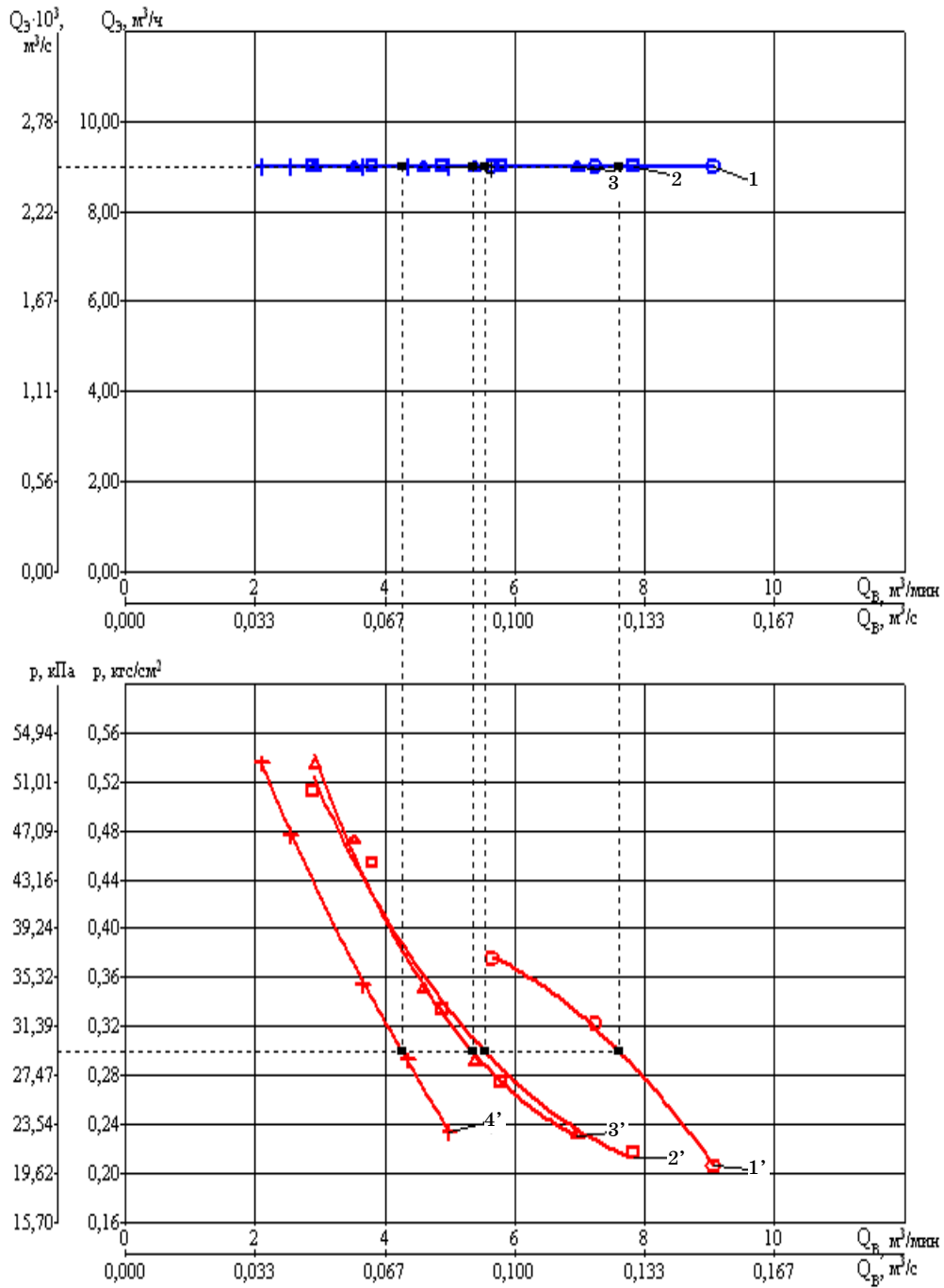


Рисунок 3 - Характеристики эрлифтов $D = 150$ мм, $H+h = 11,7$ м при $Q_3 = 9,0$ $\text{м}^3/\text{ч}$ ($0,0025$ $\text{м}^3/\text{с}$): 1 - $d = 30$ мм; 2 - $d = 49$ мм; 3 - $d = 80$ мм; 4 - $d = 105$ мм; [$1-4 - Q_3 = f(Q_e)$, $1'-4' - p_{см} = f(Q_e)$]; при $p_{см} = 0,30$ $\text{кгс}/\text{см}^2$ ($29,43$ кПа) $Q_{e1} = 7,61$ $\text{м}^3/\text{мин}$ ($0,127$ $\text{м}^3/\text{с}$), $Q_{e2} = 5,55$ $\text{м}^3/\text{мин}$ ($0,093$ $\text{м}^3/\text{с}$), $Q_{e3} = 5,34$ $\text{м}^3/\text{мин}$ ($0,089$ $\text{м}^3/\text{с}$), $Q_{e4} = 4,25$ $\text{м}^3/\text{мин}$ ($0,071$ $\text{м}^3/\text{с}$)

Как следует из графиков, для обеспечения одной и той же подачи $Q_э = 9,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$) при одном и том же давлении в смесителе $p_{см} = 0,30 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ($29,43 \text{ кПа}$) при разных диаметрах подающих труб $d = 30, 49, 80$ и 105 мм (т.е. при разных их сопротивлениях) требуются разные расходы воздуха $Q_{в1} = 7,61 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,127 \text{ м}^3/\text{с}$), $Q_{в2} = 5,55 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,093 \text{ м}^3/\text{с}$), $Q_{в3} = 5,34 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,089 \text{ м}^3/\text{с}$), $Q_{в4} = 4,25 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($0,071 \text{ м}^3/\text{с}$) (рис. 3, табл. 1), т.е. разные энергетические затраты. Очевидно, что эрлифт с $d = 105 \text{ мм}$ характеризуется наивысшей энергетической эффективностью. Уступают ему в приводимой последовательности эрлифты с диаметрами подающих труб $d = 80, 49$ и 30 мм . График кризисных состояний водовоздушной смеси [10] (рис. 4) подтверждает энергетическое превосходство снарядной структуры над эмульсионной.

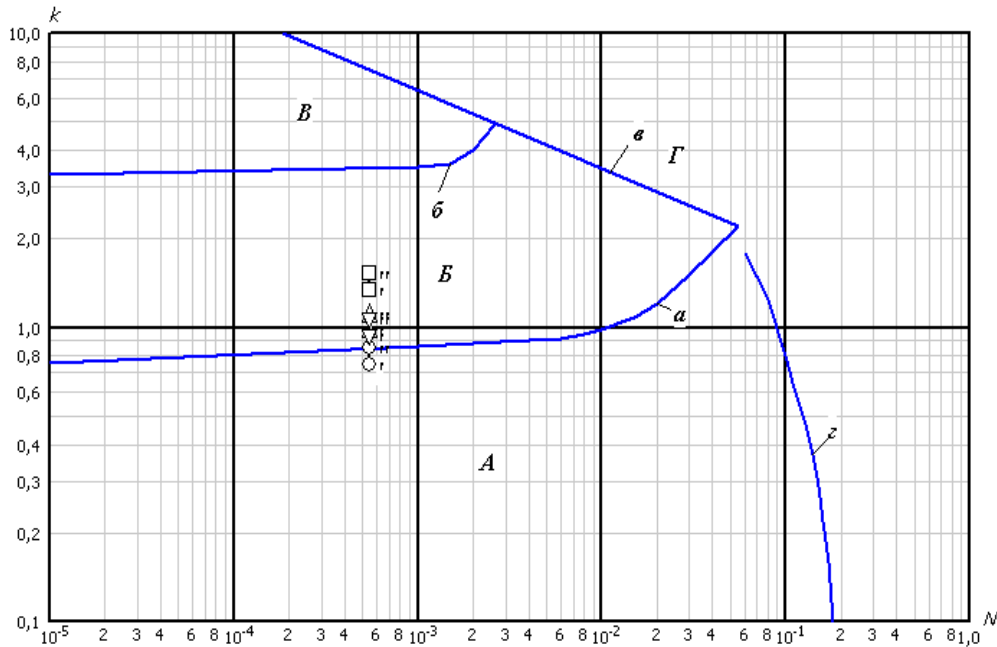


Рисунок 4 - Вид структур водовоздушных потоков в подъемных трубах эрлифтов $D = 150 \text{ мм}$, $H+h = 11,7 \text{ м}$ при $Q_э = 9,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$) и $p_{см} = 0,30 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ($29,43 \text{ кПа}$):
 \square - $d = 30 \text{ мм}$, Δ - $d = 49 \text{ мм}$, ∇ - $d = 80 \text{ мм}$, \circ - $d = 105 \text{ мм}$
(' - вход в трубу, " - выход из трубы)

Аналогичные результаты получены и для других значений D , $Q_э$ и $p_{см}$ на восходящих ветвях расходных характеристик эрлифтов (табл. 1). Не монотонность зависимостей $Q_э = f(d)$ для эрлифтов с $D = 353 \text{ мм}$ ($Q_{в4} > Q_{в3}$, табл. 1) предположительно можно объяснить существованием граничной минимальной скорости жидкости на выходе из подающей трубы. Возможно, уменьшение скорости лифтируемой жидкости ниже данного значения при соответствующем соотношении $D : d$ требует энергетических затрат на начальное формирование газожидкостного потока.

На нисходящих ветвях расходных характеристик эрлифтов с подъемными трубами $D = 150 \text{ мм}$, $H+h = 11,7 \text{ м}$ и подающими трубами $d = 49 \text{ мм}$ и $d = 105 \text{ мм}$ для обеспечения одной и той же подачи $Q_э = 18,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,0050 \text{ м}^3/\text{с}$) при давлениях в смесителях

$p_{cm} = 0,37$ кг/см² (36,30 кПа) также требуются разные расходы воздуха - $Q_{e1} = 31,9$ м³/мин (0,532 м³/с), $Q_{e2} = 51,2$ м³/мин (0,853 м³/с) (табл. 2). Как следует из построенного графика кризисных состояний двухфазных потоков, диспергированная структура водовоздушного потока в эрлифте с $d = 105$ мм является более энергоемкой для лифтирования жидкости по сравнению с кольцевой в эрлифте с $d = 49$ мм.

Таблица 1 - Значения гидродинамических параметров эрлифтов $D = 150$ и 353 мм, $H+h = 11,7$ м при $Q_a = idem$ и $p_{cm} = idem$ на восходящей ветви расходной характеристики

Диаметр подъемной трубы D , мм	Подача эрлифта Q_a		Давление в смесителе p_{cm}		Диаметр подающей трубы d , мм	Гидростатическое давление геометрического погружения смесителя $p_{n.c}$		Скорость воды в подающей трубе w'_{ex} , м/с	Расход воздуха Q_e	
	м ³ /ч	м ³ /с	кгс/см ²	кПа		кгс/см ²	кПа		м ³ /мин	м ³ /с
150	9,0	0,0025	0,300	29,43	30	0,452	44,34	3,54	7,61	0,127
					49	0,321	31,49	1,33	5,55	0,093
					80	0,303	29,72	0,50	5,34	0,089
					105	0,300	29,43	0,29	4,25	0,071
	15,0	0,0042	0,320	31,39	49	0,370	36,30	2,21	6,76	0,113
					80	0,327	32,08	0,83	5,83	0,097
105					0,322	31,59	0,48	4,57	0,076	
353	40,0	0,0111	0,250	24,53	80	0,295	28,94	2,21	28,4	0,473
					105	0,264	25,90	1,28	25,0	0,417
					140	0,255	25,02	0,72	19,3	0,322
					205	0,251	24,62	0,34	25,1	0,418
	80,0	0,0222	0,280	27,47	80	-	-	-	-	-
					105	0,340	33,35	2,57	45,5	0,758
					140	0,297	29,14	1,44	29,7	0,495
					205	0,284	27,86	0,67	31,8	0,530

Таблица 2 - Значения гидродинамических параметров эрлифта $D = 150$ мм, $H+h = 11,7$ м при $Q_a = idem$ и $p_{cm} = idem$ на нисходящей ветви расходной характеристики

Диаметр подъемной трубы D , мм	Подача эрлифта Q_a		Давление в смесителе p_{cm}		Диаметр подающей трубы d , мм	Гидростатическое давление геометрического погружения смесителя $p_{n.c}$		Скорость воды в подающей трубе w'_{ex} , м/с	Расход воздуха Q_e	
	м ³ /ч	м ³ /с	кгс/см ²	кПа		кгс/см ²	кПа		м ³ /мин	м ³ /с
150	18,0	0,005	0,370	36,30	49	0,437	42,87	2,65	31,9	0,532
					105	0,372	36,49	0,58	51,2	0,853

Таким образом, как и в ранее рассмотренном случае (рис. 1, 2), энергетическая эффективность анализируемых вариантов работы эрлифтов (табл. 1, 2) определяется видом структуры водовоздушного потока в подъемной трубе. Повышение эффективности работы подъемника обеспечивается при изменении структуры водовоздушного потока от диспергированной к кольцевой, и далее от эмульсионной к снарядной.

5. ВЫВОДЫ И НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментально подтверждены теоретические выводы о влиянии вида структуры водовоздушного потока на энергетическую эффективность эрлифта. Повышение эффективности работы подъемника обеспечивается при изменении структуры водовоздушного потока от диспергированной к кольцевой, и далее от эмульсионной к снарядной. Полученные результаты позволяют установить энергетически целесообразные области и оптимальные режимы работы эрлифтов и разработать рекомендации по совершенствованию газожидкостных подъемников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононенко А.П. О принципе действия эрлифта // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. - 2007. - Вип. 13 (123) - С. 91-100.
2. Кононенко А.П. Модель рабочего процесса эрлифта со снарядной структурой водовоздушного потока // Промислова гідраліка і пневматика. - 2006. - №1 (11). - С. 34-37.
3. Кононенко А.П. Модель рабочего процесса эрлифта с эмульсионной структурой водовоздушного потока // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Гірничо-електромеханічна". - 2005. - Вип. 101. - С. 58-67.
4. Кононенко А.П. Модель рабочего процесса эрлифта с кольцевой структурой водовоздушного потока // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - 2006. - № 27. - С. 113-121.
5. Кононенко А.П. Тиски та потужності снарядного водоповітряного потоку в піднімальній трубі ерліфта // Вісник Донецького державного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського". Серія "Технічні науки". - 2006. - №1(29). - С. 20-30.
6. Бойко Н.Г., Кононенко А.П. Энергетические параметры эмульсионного водовоздушного потока в подъемной трубе эрлифта // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. - 2006. - Вип. 12 (113) - С. 17-32.
7. Кононенко А.П. Давления и мощности кольцевого водовоздушного потока в подъемной трубе эрлифта // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. - 2007. - №3(109), Ч. 1. - С.141-147.
8. Кононенко А.П. Ограничения в подаче эрлифта // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Збірник наукових праць: "Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва". - 2005. - Вип. 2005-7(55). - С. 71-81.
9. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1991. - 331 с.
10. Кононенко А.П. Структуры двухфазных потоков в подъемных трубах эрлифтов // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки». - 2005. - №12(84). - С. 38-48.
11. Эрлифтные установки: Учебное пособие / В.Г. Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, Я.К. Антонов - Донецк: ДПИ, 1982. - 64 с.
12. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко - М.: Информсвязьиздат, 1995. - 592 с.

Поступила в редакцию 5 мая 2009 г.