

А.П. Кононенко /д.т.н./, Р.И. Божко
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

РАЦИОНАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ ЭРЛИФТНЫХ УСТАНОВОК С ВОЗДУХОСТРУЙНЫМИ КОМПРЕССОРАМИ

Установлена рациональная область применения нагнетательных эрлифтных установок с воздухоструйными компрессорами в качестве источников пневмоэнергии. Приведено аналитическое обоснование практически равносценной энергоэффективности работы (отличия не превышают $\pm 5\ldots 10\%$) нагнетательных эрлифтов с воздухоструйными компрессорами в сравнении с традиционными эрлифтами при возможности расширения области рационального применения нагнетательных эрлифтных установок.

Ключевые слова: нагнетательный эрлифт, воздухоструйный компрессор, удельный расход воздуха, коэффициент инжекции, высота подъема, энергоэффективность, область применения.

Постановка проблемы

Доказана возможность напорного транспортирования жидкости (гидросмеси) от воздухоотделителя к потребителю нагнетательными эрлифтными установками с радиальными нагнетателями [1]. Однако параметры сжатого воздуха (давление, расход), производимого серийно выпускаемыми радиальными нагнетателями, зачастую не соответствуют требуемым для заданной эрлифтной установки, а сами нагнетатели являются достаточно конструктивно сложными и относительно дорогостоящими. Это приводит к ощутимому увеличению приведенных расходов на единицу объема транспортируемой жидкости (гидросмеси), и применение радиальных нагнетателей в качестве источников пневмоэнергии для газожидкостных подъемников в этих условиях становится нецелесообразным. Особенно такая нецелесообразность проявляется при периодическом режиме работы эрлифтной установки, например, при чистках подземных технологических емкостей (зумпфов склоновых стволов, приемных колодцев водоотливных насосов и др.) угольных предприятий, осуществляемых, как правило, несколько раз в месяц.

При наличии на предприятии (шахте, заводе и т.п.) пневмосети общего назначения в ряде случаев целесообразно в качестве источника пневмоэнергии нагнетательного эрлифта применение воздухоструйного компрессора, преобразовывающего излишне высокое для этих условий давление воздуха в пневмосети в расход инжектируемой среды. Это позволяет уменьшить потребный расход рабочего агента (воздуха из пневмосети) в струйном аппарате и повысить энергетическую эффективность работы установки.

К тому же, воздухоструйные компрессоры проектируются и изготавливаются под конкретные условия применения, с заданными потребными давлением и расходом сжатого воздуха, что также минимизирует приведенные расходы на транспортирование жидкости (гидросмеси). Струйные аппараты конструктивно не являются сложными в изготовлении, не содержат, как и эрлифты, подвижных элементов в проточной части, что приоритетно в случае периодической эксплуатации данных установок.

Поэтому установление рациональной области применения нагнетательных эрлифтных установок с воздухоструйными компрессорами на основе обоснования целесообразных параметров их рабочего процесса является актуальной научной задачей, имеющей существенное практическое приложение.

Анализ последних исследований и публикаций

Обоснованные области применения, особенности рабочих процессов и конструктивного исполнения эрлифтных установок традиционной технологической схемы наиболее полно изложены в [2,3].

Расширение области применения за счет напорного транспортирования жидкости (гидросмеси) от воздухоотделителя к потребителю обеспечивают нагнетательные эрлифты. Доказана возможность, технико-экономическая целесообразность работы и приемлемые области использования таких эрлифтов при их пневмоснабжении от серийно производимых радиальных нагнетателей [1,4,5].

При наличии на предприятии пневматиче-

ской сети в ряде случаев целесообразно применение в качестве источников пневмоэнергии для эрлифтов воздухоструйных компрессоров [6]. Однако вопросы воздухоснабжения струйными аппаратами нагнетательных эрлифтов не исследовались и не публиковались.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящего исследования является обоснование рациональной области применения нагнетательных эрлифтных установок с воздухоструйными компрессорами, запитанными от пневмосетей внутренних нужд предприятий, на основе установления особенностей рабочего процесса и энергоэффективности их работы.

Основной материал исследования

Принципиальная схема (рис. 1), последовательность запуска и работа нагнетательной эрлифтной установки с воздухоструйным компрессором преимущественно аналогичны принципиальной схеме, последовательности запуска и работе нагнетательной эрлифтной установки с радиальным нагнетателем [1].

Отличием рассматриваемой нагнетательной эрлифтной установки является включение в ее состав воздухоструйного компрессора 12 с трубопроводом рабочего воздушного потока 10, подсоединенного к пневмосети предприятия взамен радиального нагнетателя с влагоотделителем [1].

Запуск нагнетательной эрлифтной установки начинается с вывода на рабочий режим струйного компрессора 12 подачей рабочего воздуха через запорно-регулирующую задвижку 11 при открытых клапане 8 и задвижке 15. Дальнейшая последовательность операций по запуску нагнетательной установки со струйным компрессором аналогична последовательности операций, производимых при запуске нагнетательной установки с радиальным нагнетателем [1,4,5] с той разницей, что в процессе штатной работы установки обеспечивается отвод в окружающую среду в единицу времени через патрубок 7 количества воздуха, равного расходу рабочего воздуха из пневмосети через трубопровод 10.

Анализ особенностей рабочего процесса и энергоэффективности работы нагнетательной эрлифтной установки с воздухоструйным компрессором требует представления принципиальной схемы нагнетательного эрлифта (рис. 2б) в виде принципиальной эквивалентной схемы нагнетательного эрлифта с традиционным способом работы (рис. 2в). Эквивалентность (по условиям работы) эрлифтов схем (рис. 2б, 2в) обеспечивается одинаковыми геометрическими

погружениями смесителей h_n и одинаковыми давлениями p_{63} в подъемных трубах на высоте H от уровня свободной поверхности перекачиваемой жидкости в зумпфе.

Эквивалентный традиционный эрлифт (рис. 2г) обеспечивает ту же высоту подъема H_u , что и нагнетательный (рис. 2б), и служит для сравнения параметров рабочего процесса и энергоэффективности работы этой установки (рис. 2г) и эквивалентной нагнетательной установки (рис. 2в). Эрлифт традиционной технологической схемы (рис. 2а) при этом является базой для выполнения выше перечисленных анализов.

В общем случае при заданных высоте подъема эрлифта H и относительном погружении смесителя α [2] геометрическое погружение смесителя определяется зависимостью:

$$h = H \frac{\alpha}{1-\alpha}, \quad (1)$$

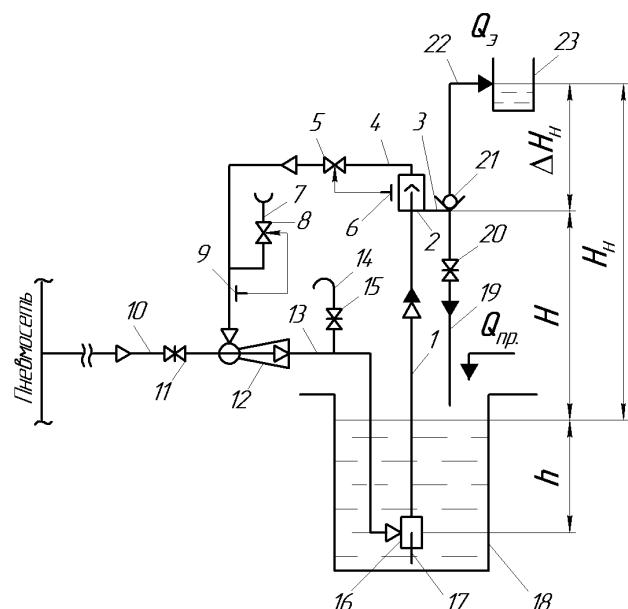


Рис. 1. Принципиальная схема нагнетательной эрлифтной установки с воздухоструйным компрессором:

1 – подъемная труба; 2 – воздухоотделитель;
 3 – сливная труба; 4 – воздухоотводящая труба;
 5, 8 – регулирующие клапаны; 6 – датчик уровня;
 7 – патрубок; 9 – датчик давления;
 10 – трубопровод рабочего воздушного потока;
 11 – задвижка запорно-регулирующая;
 12 – компрессор воздухоструйный;
 13 – напорный воздухопровод; 14 – пусковой
 патрубок; 15, 20 – задвижка; 16 – смеситель;
 17 – подающая труба; 18 – зумпф; 19 – сбросной
 трубопровод; 21 – обратный клапан;
 22 – отводящий трубопровод; 23 – потребитель
 перекачиваемой жидкости

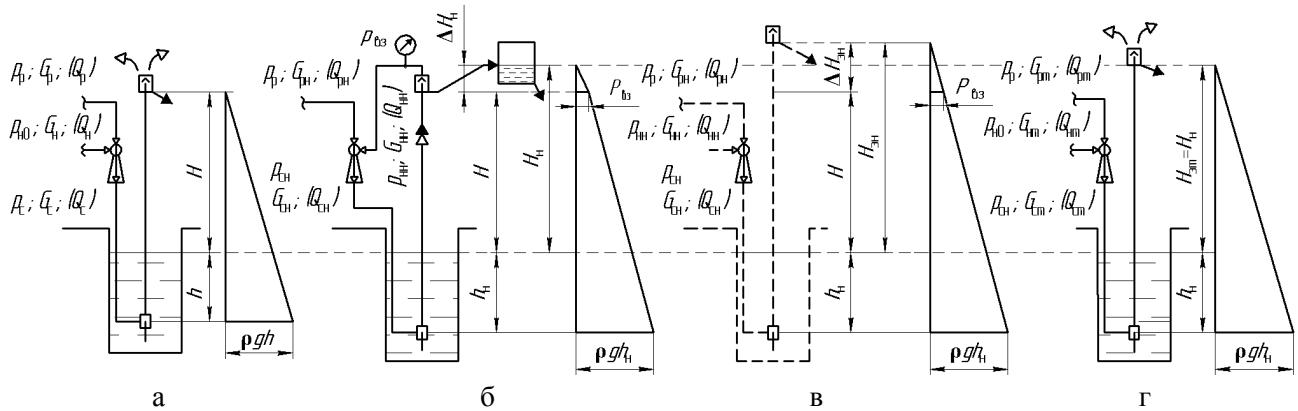


Рис. 2. Эпюры давления в подъемных трубах эрлифтов со струйным аппаратом:
а – традиционной технологической схемы; б – нагнетательного эрлифта;
в – эквивалентного нагнетательного эрлифта; г – эквивалентного традиционного эрлифта

а абсолютное давление в смесителе – выражением:

$$p_{cm} = p_0 + \rho gh, \quad (2)$$

где p_0 – абсолютное давление окружающей среды (атмосферное давление); ρ – плотность перекачиваемой жидкости; g – ускорение свободного падения.

Удельный (при нормальных технических условиях на 1 м³ транспортируемой жидкости – воды) расход воздуха для эрлифтов:

– при $(H+h)/D < 200$, $\rho gh/p_0 < 2$, $4 \leq h \leq 10$ м (D – эквивалентный диаметр подъемной трубы) [2]:

$$q = 0,767\alpha^{-2.2}; \quad (3)$$

– при $\alpha > 0,5$ м [7]:

$$q = \frac{q_c}{\frac{p_0}{\rho gh} \ln(1 + \frac{\rho gh}{p_0})}, \quad (4)$$

где q_c – среднее газосодержание в подъемной трубе

$$q_c = (22,7 + 10,1\alpha)0,0063^{0,97\alpha}. \quad (5)$$

Достижимый коэффициент инжекции газоструйного компрессора u и обеспечивающие его максимально возможное значение основные относительные геометрические характеристики аппарата f_{p1}/f_{p*} и f_3/f_{p*} (f_{p*} , f_{p1} – площади соответственно критического и выходного сечений рабочего сопла Лаваля, f_3 – площадь сечения камеры смешения цилиндрической формы) однозначно определяются давлениями потоков (абсо-

лютными): p_p – рабочего, p_n – инжектируемого, p_c – сжатого [8,9].

Исходя из соотношений [2,8,10,11,12]

$$q = \frac{Q_c}{Q_s}, G_c = G_p + G_n, u = \frac{G_n}{G_p}, G_c = \rho_{\infty 0} Q_c, \quad (6)$$

где Q_c – объемный расход воздуха на выходе из воздухоструйного компрессора (на входе в смеситель эрлифта) при нормальных технических условиях; Q_s – объемная подача эрлифта; G_c , G_p , G_n – массовые расходы соответственно сжатого, рабочего и инжектируемого потоков воздуха в струйном компрессоре; $\rho_{\infty 0}$ – плотность воздуха при нормальных технических условиях.

После элементарных преобразований можно получить зависимость для определения удельного (при нормальных технических условиях на 1 м³ транспортируемой жидкости – воды) расхода рабочего (из пневмосети) воздуха:

$$q_p = \frac{Q_p}{Q_s} = \frac{q}{1+u}, \quad (7)$$

где Q_p – объемный расход рабочего воздуха (из пневмосети) при нормальных технических условиях, $Q_p = G_p / \rho_{\infty 0}$.

Для эрлифтной установки с эрлифтом традиционной технологической схемы и струйным аппаратом (см. рис. 2а) с использованием выражений (1)...(5), (7), теоретических положений, высказанных в [13...15], с применением компьютерной программы для вычисления коэффициента инжекции газоструйного компрессора u [9] в диапазонах значений $H=3...10$ м, $\alpha=0,20...0,50$, $p_p=0,4...0,8$ МПа и принятых соотношений $p_n=p_{n0}=p_0$, $p_c=p_{cm}$ определены зависимости: $q_p/q=f(\alpha)$, $q_p/q=f(H)$, $q_p/q=f(p_p)$ (рис. 3).

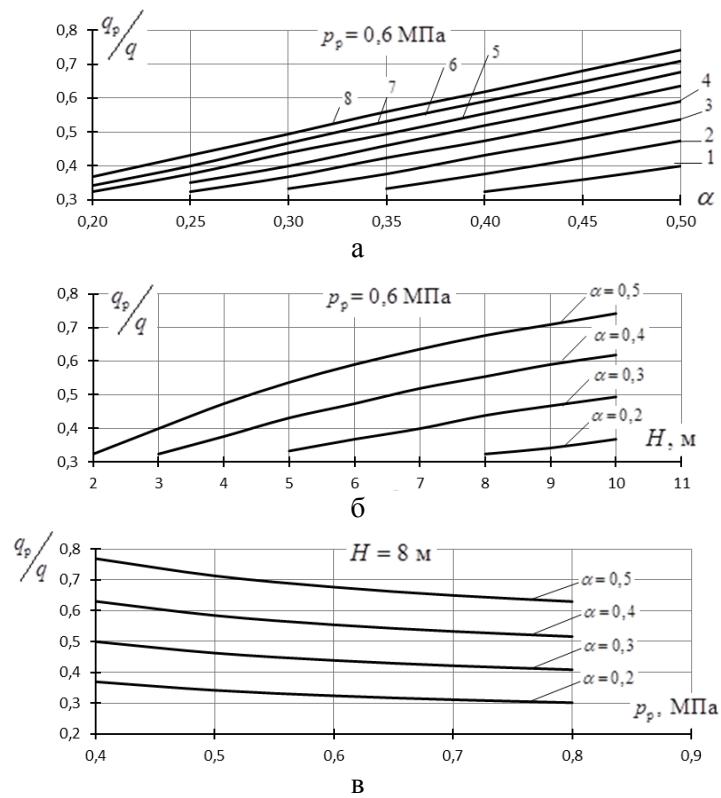


Рис. 3. Зависимости относительного удельного расхода рабочего воздуха q_p/q :
 а – от относительного погружения смесителя α при H :
 1 – 3 м; 2 – 4 м; 3 – 5 м; 4 – 6 м; 5 – 7 м; 6 – 8 м; 7 – 9 м; 8 – 10 м;
 б – от высоты подъема эрлифта H ; в – от давления рабочего воздуха p_p

Как пример, при $p_p=0,6$ МПа в диапазоне $H=3\ldots 10$ м уменьшение относительного погружения смесителя от $\alpha=0,5$ до $\alpha=0,2$ обеспечивает уменьшение относительного удельного расхода рабочего воздуха q_p/q от $\sim 0,40\ldots 0,75$ до $\sim 0,32\ldots 0,38$ за счет более интенсивного увеличения коэффициента инжекции струйного аппарата u в сравнении с ростом удельного расхода воздуха q при имеющем место умень-

шении геометрического погружения смесителя h (и, соответственно, уменьшении потребного давления сжатия струйного аппарата p_c) (см. рис. 3а).

Но, в то же время, абсолютное значение удельного расхода рабочего воздуха q_p , как и удельного расхода воздуха эрлифтом q , уменьшается с увеличением относительного погружения смесителя α (рис. 4).

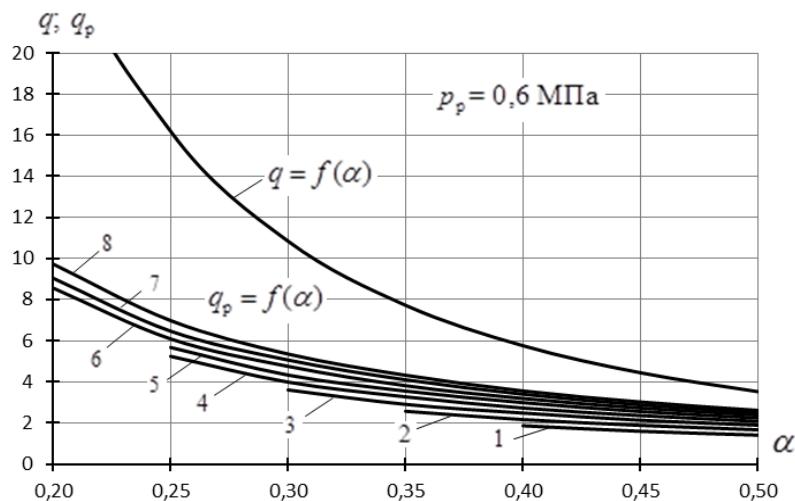


Рис. 4. Зависимости удельных расходов рабочего воздуха q_p и удельного расхода воздуха эрлифтом q от относительного погружения смесителя α при H :
 1 – 3 м; 2 – 4 м; 3 – 5 м; 4 – 6 м; 5 – 7 м; 6 – 8 м; 7 – 9 м; 8 – 10 м

Очевидно, в рассматриваемых условиях увеличение высоты подъема H от 2 до 10 м приводит к увеличению относительного удельного расхода рабочего воздуха q_p/q от 0,31 до 0,75 при $\alpha=0,2\dots0,5$ (см. рис. 3б).

Увеличение давления рабочего воздуха p_p от 0,4 до 0,8 МПа обеспечивает снижение относительного удельного расхода рабочего воздуха q_p/q от 0,38...0,78 до 0,30...0,62 при принятой в качестве примера высоте подъема эрлифта $H=8$ м (см. рис. 3в).

Таким образом, использование воздухоструйного компрессора для преобразования излишне высокого давления рабочего воздуха в диапазонах $p_p=0,4\dots0,8$ МПа, $H=3\dots10$ м, $\alpha=0,20\dots0,50$ обеспечивает снижение расхода воздуха из пневмосети до 2-х раз для эрлифтной установки с эрлифтом традиционной технологической схемы.

Для нагнетательного эрлифта избыточное давление в воздухоотделителе составляет (см. рис. 2б):

$$p_{\text{вз}} = \rho g \Delta H_h, \quad (8)$$

где ΔH_h – высота переподъема нагнетательного эрлифта.

Высота переподъема $\Delta H_{\text{вз}}$ эквивалентного нагнетательного эрлифта определяется из соотношения (см. рис. 2в):

$$\frac{p_{\text{вз}}}{\rho g h_h} = \frac{\Delta H_{\text{вз}}}{H + h_h + \Delta H_{\text{вз}}}, \quad (9)$$

откуда, с учетом (8):

$$\Delta H_{\text{вз}} = \frac{\Delta H_h (H_h - \Delta H_h + h_h)}{h_h - \Delta H_h}. \quad (10)$$

Относительные погружения смесителей:

– эквивалентного нагнетательного эрлифта (см. рис. 2в)

$$\alpha_{\text{вз}} = \frac{h_h}{H_h - \Delta H_h + \Delta H_{\text{вз}} + h_h}, \quad (11)$$

– эквивалентного традиционного эрлифта (см. рис. 2г)

$$\alpha_{\text{вз}} = \frac{h_h}{H_{\text{вз}} + h_h} = \frac{h_h}{H_h + h_h}. \quad (12)$$

Пренебрегая потерями давления сжатого воздуха между выходным сечением струйного

аппарату и входным сечением смесителя эрлифта принимаем равными значения абсолютных давлений

$$p_{ch} = p_{cmh} = p_0 + \rho g h_h, \quad (13)$$

где p_{ch} – абсолютное давление сжатого воздуха на выходе из воздухоструйного компрессора нагнетательной эрлифтной установки; p_{cmh} – абсолютное давление в смесителе нагнетательного эрлифта.

Удельный расход воздуха q_{ch} эквивалентного нагнетательного эрлифта (см. рис. 2в) определяется по зависимостям (3)...(5) при $\alpha=\alpha_{ch}$, а удельный расход воздуха q_{cm} эквивалентного традиционного эрлифта (см. рис. 2г) – по зависимостям (3)...(5) при $\alpha=\alpha_{cm}$.

Абсолютное давление инжектируемого потока струйного аппарата нагнетательной (см. рис. 2б) и эквивалентной нагнетательной (см. рис. 2в) эрлифтной установки

$$p_{ch} = p_0 + \rho g \Delta H_h. \quad (14)$$

Коэффициент инжекции u_h воздухоструйного компрессора нагнетательной (см. рис. 2б) u_h и эквивалентной нагнетательной (см. рис. 2в) $u_{ch}=u_h$ эрлифтной установки определяется для значений p_p , p_{ch} и p_{cm} , а коэффициент инжекции воздухоструйного компрессора эквивалентной традиционной u_{cm} эрлифтной установки (см. рис. 2г) для значений p_p , p_{ch} и p_{cm} .

Удельный расход рабочего воздуха (из пневмосети) по аналогии с (7) определяется зависимостями:

– для эквивалентной нагнетательной (см. рис. 2в) эрлифтной установки

$$q_{p_{ch}} = \frac{q_{ch}}{1 + u_{ch}}, \quad (15)$$

– для эквивалентной традиционной (см. рис. 2г) эрлифтной установки

$$q_{p_{cm}} = \frac{q_{cm}}{1 + u_{cm}}. \quad (16)$$

Сравнение энергетической эффективности работы нагнетательного эрлифта и эрлифта традиционной технологической схемы выполнено на основе анализа рабочих процессов эквивалентного нагнетательного эрлифта (см. рис. 2в) и эквивалентного традиционного эрлифта (см. рис. 2г) при одинаковых геометрических погружениях смесителей $h_h=\text{idem}$ и одинаковых высо-

так подъема транспортируемой жидкости H_n , которые обеспечиваются длинами подъемных труб выше уровня свободной поверхности жидкости в зумпфах:

– для эквивалентного нагнетательного эрлифта

$$H_{\vartheta n} = H + \Delta H_{\vartheta n} = H_n - \Delta H_n + \Delta H_{\vartheta n}, \quad (17)$$

– для эквивалентного традиционного эрлифта

$$H_{\vartheta m} = H + \Delta H_n = H_n. \quad (18)$$

Для эквивалентного нагнетательного (см. рис. 2в) и эквивалентного традиционного (см. рис. 2г) эрлифтов с использованием выражений (3)...(5), (10)...(16) и компьютерной программы для вычисления коэффициента инжекции

газоструйного компрессора и в диапазонах значений $p_p=0,4 \dots 0,8 \text{ МПа}$, $H_n=1 \dots 10 \text{ м}$, $h_n=10 \dots 18 \text{ м}$, $\Delta H_n=0,5 \dots 2,5 \text{ м}$ определены зависимости $q_{p\vartheta n}/q_{p\vartheta m}=f(h_n)$, $q_{p\vartheta n}/q_{p\vartheta m}=f(H_n)$, $q_{p\vartheta n}/q_{p\vartheta m}=f(\Delta H_n)$, $q_{p\vartheta n}/q_{p\vartheta m}=f(p_p)$ (рис. 5...7).

На рис. 5а и 5г ΔH_n : 1 – 0,5 м; 2 – 1 м; 3 – 1,5 м; 4 – 2 м; 5 – 2,5 м.

На рис. 5б h_n : 1 – 10 м; 2 – 12 м; 3 – 14 м; 4 – 15 м; 5 – 16 м; 6 – 18 м.

На рис. 5в H_n : 1 – 1 м; 2 – 2 м; 3 – 3 м; 4 – 4 м; 5 – 5 м; 6 – 6 м.

Как следует из полученных в результате расчетов и приведенных в качестве примеров зависимостей, в диапазонах указанных значений p_p , H_n , h_n , ΔH_n удельный расход рабочего воздуха нагнетательного эрлифта $q_{p\vartheta n}$ отличается от удельного расхода рабочего воздуха традиционного эрлифта $q_{p\vartheta m}$ не более чем на $\pm 5 \dots 10 \%$ при прочих равных условиях.

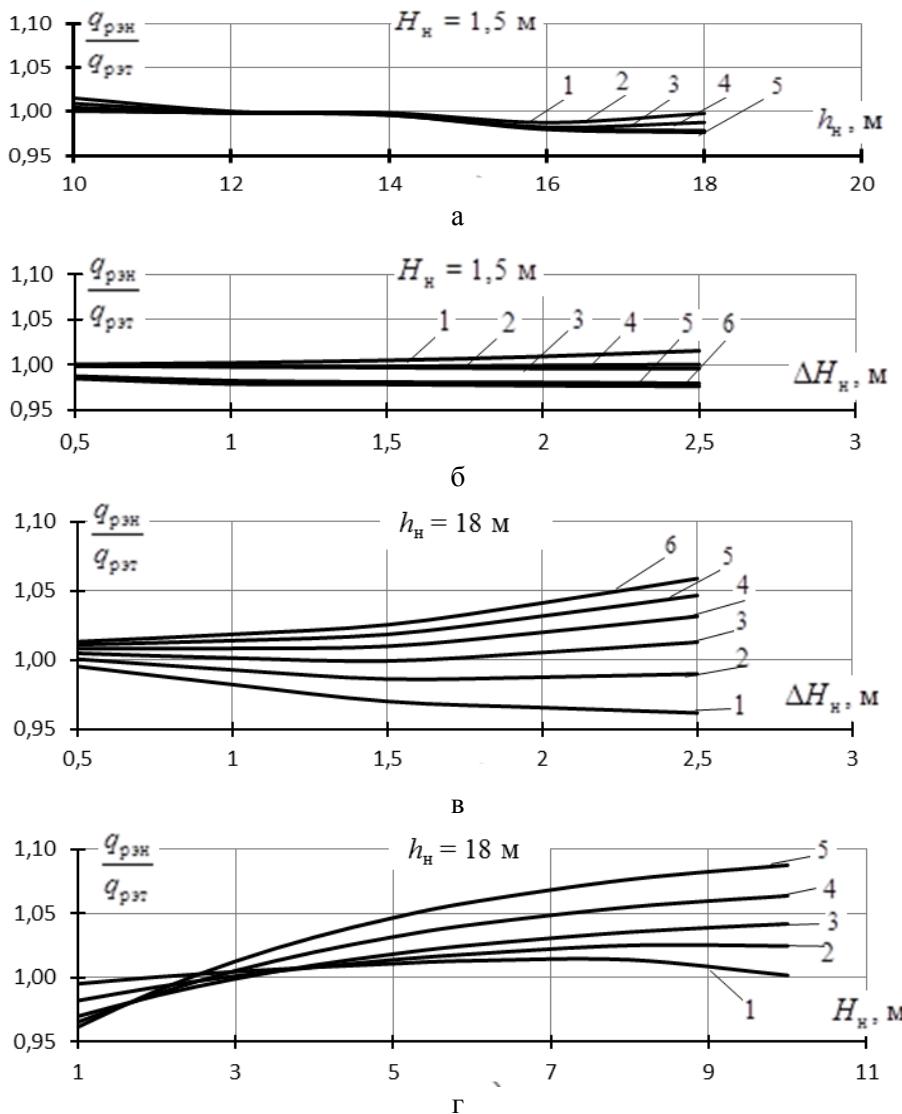


Рис. 5. Зависимости относительных удельных расходов рабочего воздуха $q_{p\vartheta n}/q_{p\vartheta m}$ нагнетательного эрлифта при $p_p = 0,6 \text{ МПа}$ от:

а – геометрического погружения смесителя h_n ; б, в – высоты переподъема ΔH_n ; г – высоты подъема H_n

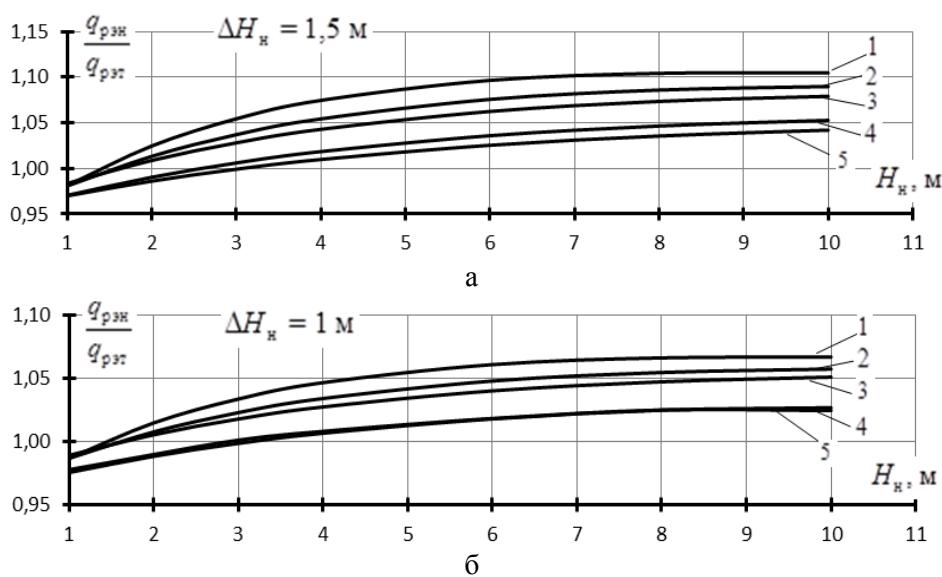


Рис. 6. Зависимости относительных удельных расходов рабочего воздуха $q_{p_{3H}}/q_{p_{3T}}$ нагнетательного эрлифта от высоты подъема H_n при $p_p=0,6$ МПа, h_n :
 1 – 10 м; 2 – 12 м; 3 – 14 м; 4 – 16 м; 5 – 18 м
 при высоте переподъема ΔH_n (а – 1,5 м, б – 1 м)

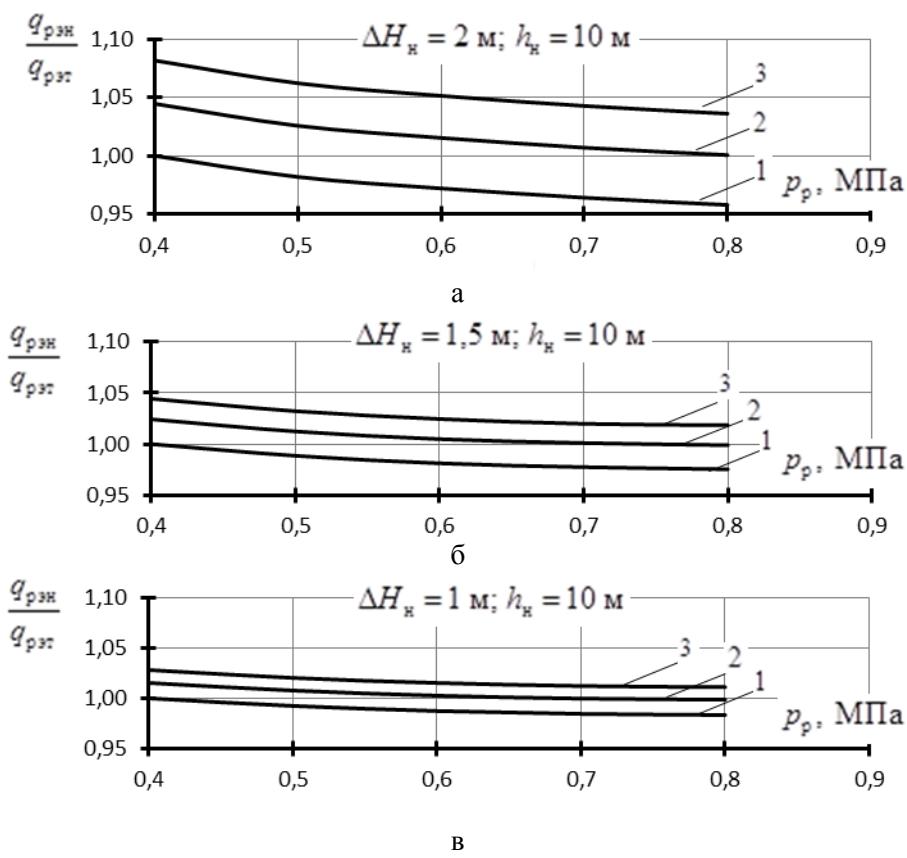


Рис. 7. Зависимости относительных удельных расходов рабочего воздуха $q_{p_{3H}}/q_{p_{3T}}$ нагнетательного эрлифта от абсолютного давления рабочего воздуха p_p
 при H_n : 1 – 1 м; 2 – 1,5 м; 3 – 2 м; h_n = 10 м и ΔH_n (а – 2 м, б – 1,5 м, в – 1 м)

Полученные результаты позволяют утверждать о практически равнозначной энергоэффективности работы нагнетательного и традиционного эрлифтов с приведенными параметрами

рабочих процессов при расширении области применения нагнетательных эрлифтовых установок с воздухоструйными компрессорами за счет возможности напорного транспортирования

жидкости (гидросмеси) от воздухоотделителя к потребителю в отличие от только безнапорного транспортирования традиционными эрлифтными установками.

Выводы

Доказано, что применение воздухоструйного компрессора, запитанного от пневмосетей общего назначения (шахтных, заводских и т.п.), для пневмоснабжения эрлифтов традиционной технологической схемы в диапазонах значений давлений рабочего воздуха $p_p=0,4\ldots0,8$ МПа, высот подъема эрлифта $H=3\ldots10$ м, относительных погружений смесителей $\alpha=0,20\ldots0,50$ позволяет уменьшить до двух раз расход рабочего воздуха из пневмосети за счет преобразования излишне высокого давления рабочего агента в расход инжектируемого потока (атмосферного воздуха).

Для диапазонов значений давлений рабочего воздуха $p_p=0,4\ldots0,8$ МПа, высот подъема жидкости (гидросмеси) $H_n=1\ldots10$ м, геометрических погружений смесителей $h_n=10\ldots18$ м, высот пеперподъема нагнетательного эрлифта $\Delta H_n=0,5\ldots2,5$ м энергоэффективность работы нагнетательных эрлифтных установок с воздухоструйными компрессорами практически не отличается (отличия не превышают $\pm 5\ldots10$ %) от энергоэффективности работы эрлифтных установок традиционной технологической схемы с теми же значениями геометрических погружений смесителей и высот подъема жидкости (гидросмеси).

Однако возможность использования нагнетательных эрлифтных установок в стесненных (по вертикали) условиях и напорного транспортирования жидкости (гидросмеси) от воздухоотделителя эрлифта к потребителю значительно расширяет области их рационального применения.

Представленные в данной работе результаты являются основой дальнейших исследований по применению в составе нагнетательных эрлифтных установок воздухоструйных компрессоров более высокой энергетической эффективности, как, например, струйных аппаратов с пульсирующей подачей рабочего потока.

Список литературы

- Божко, Р.И. Обоснование энергетической целесообразности применения нагнетательных эрлифтных установок с радиальными нагнетателями / А.П. Кононенко, Р.И. Божко // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2017. – №1(7). – С. 11-19.
- Папаяни, Ф.А. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни и др. – М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с.
- Кононенко, А.П. Рабочий процесс эрлифта и его моделирование. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010. – 171 с.
- Божко, Р.И. Области применения нагнетательных эрлифтных установок с радиальными нагнетателями / А.П. Кононенко, Р.И. Божко // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2018. – №1. Т.14. – С. 29-37.
- Божко, Р.И. Особенности применения радиальных нагнетателей в составе нагнетательных эрлифтных установок / А.П. Кононенко, Р.И. Божко // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2018. – №4(14). – С.24-33.
- Малеев, В.Б. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтных водосборных емкостей: учеб. пособие / В.Б. Малеев, Е.И. Данилов, В.М. Яковлев. – Донецк: ДПИ, 1986. – 36 с.
- Адамов, Б.И. Исследование и разработка глубоководных эрлифтных установок для подъема твердого материала: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Адамов Борис Исаевич. – Донецк, 1982. – 323 с.
- Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергия, 1989. – 352 с.
- Кононенко, А.П. Экспериментальное обоснование рациональной методики расчета газоструйного компрессора / А.П. Кононенко, В.А. Панов // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2018. – №3(13). – С. 25-33.
- Кононенко, А.П. Повышение эффективности гидромеханической чистки подземных емкостей угольных шахт / А.П. Кононенко, В.В. Гокун // XVI Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гіdraulika і пневматика», Суми, 14-16 жовтня 2015 р. – Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2015. – С. 180-181.
- Финкельштейн, З.Л. Средства гидромеханизации: учеб. пособ. / З.Л. Финкельштейн, Л.Н. Козыряцкий. – Алчевск: ДонГТУ, 2013. – 168 с.
- Козыряцкий, Л.Н. Эрлифты и гидроэлеваторы в горной промышленности: учеб. пособ. / Л.Н. Козыряцкий и др. – Донецк: ГОУВПО «ДонНТУ», 2017. – 160 с.
- Kurychenko, Y. Advanced method for calculation of deep-water airlifts and the special software development / Y. Kurychenko, V. Kurychenko, A. Taturevych // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – London: CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, 2011.

– P. 215-222.

14. Kyrychenko, Y. Research of dynamic processes in deep-water pumping hydrohoists lifting two-phase fluid / Y. Kyrychenko, V. Kyrychenko, A. Romanyukov // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – London: CRC Press/ Balkema, Taylor & Francis Group, 2011. – P. 115-124.

15. Mikami, T. Free vibration analysis of shells of revolution considering the fluid-structure interaction / T. Mikami, J. Yoshimura // Mem. Fac. Eng. Hokkaido Univ. – 1990. – № 1. – P. 1-15.

A.P. Kononenko /Dr. Sci. (Eng.)/, R.I. Bozhko
Donetsk National Technical University (Donetsk)

RATIONAL APPLICATION FIELD OF INJECTION AIR-LIFT UNITS WITH AIR-JET COMPRESSORS

Background. The possibility of the pressure fluid (slurry) transport from the air-purge drum to the consumer by pressure air-lift installations with radial superchargers proved. However, the parameters of compressed air in this case often do not correspond to those required for a given air-lift installation. At the same time, in case of presence at the enterprise of the pneumatic network of general-purpose, it is often advisable to use an air-jet compressor as a source of pneumatic energy of the discharge air-lift, which converts excessively high air pressure into the flow rate of the injected medium. The above mentioned allows for increasing the energy efficiency of the plant. Determining a rational field of application of pressure air-lift units with air-jet compressors based on the justification of reasonable parameters of their working process is an urgent scientific problem with significant practical use.

Materials and/or methods. Using the developed analytical technique for analysing the parameters of the working process of the injection air-lift unit with an air jet compressor, based on a comparison of the energy efficiency of the equivalent discharge air-lift scheme and the equivalent scheme of the traditional air-lift, and studied the parameters of the injection air-lift units.

Results. Proved that the use of air-jet compressor powered by general-purpose pneumatic networks for the pneumatic supply of air-lifts of the traditional technological scheme in the ranges of pressures of the working air $p_p=0.4..0.8 \text{ MPa}$, the heights of the air-lift $H=3..10 \text{ m}$, the relative mixers dive $\alpha=0.20..0.50$ allows reducing up to two times the flow rate of the working air from the pneumatic network by converting the excessively high pressure of the working agent into the flow rate of the injected flow.

Conclusion. For the ranges of pressure values of the working air $p_p=0.4..0.8 \text{ MPa}$, rise of liquid (slurry) $H=1..10 \text{ m}$, mixers geometric dives $h_n=10..18 \text{ m}$, re-lift height of discharge air-lift $\Delta H_n=0.5..2.5 \text{ m}$ the energy efficiency of the injection air-lift units with air-jet compressors is practically identical (the differences do not exceed $\pm 5..10 \%$) of the energy efficiency of air-lift units of traditional technological schemes with the same values of geometric mixers dives and height of liquid rise. However, the possibility of using injection air-lift units in cramped (vertical) conditions and pressure transportation of liquid from the air-lift air separator to the consumer significantly expands the scope of their rational application.

Keywords: pressure air-lift, air-jet compressor, specific air consumption, injection ratio, lift height, energy efficiency, application.

Сведения об авторах

А.П. Кононенко

SPIN-код: 3828-6755
Телефон: +380 (71) 334-90-21
Эл. почта: ap.kononenko@mail.ru

Р.И. Божко

SPIN-код: 2510-2591
Телефон: +380 (71) 386-16-39
Эл. почта: bozhko342@mail.ru

Статья поступила 29.08.2019 г.
© А.П. Кононенко, Р.И. Божко, 2019
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин