

УДК 621.695(088.8)

Л.Н. Козыряцкий, канд. техн. наук, доц.,**В.И. Мизерный**, ст. преподаватель,**А.В. Литвак**, студент

Донецкий национальный технический университет

РАСХОД СЖАТОГО ВОЗДУХА В ПОДЪЕМНОЙ ТРУБЕ ЭРЛИФТА

Получены зависимости для определения действительного удельного расхода сжатого воздуха в подъемной трубе эрлифта и полного к.п.д. эрлифтной установки.

Ключевые слова: эрлифт, расход, скорость, подача, труба, сжатый воздух, потери, водовоздушная смесь.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В горной промышленности, нефтедобыче, энергетике, строительстве, гидромеханизации и во многих других отраслях для подъема различных жидкостей, в частности воды или гидросмеси, широкое применение находят эрлифтные установки, в которых используется энергия сжатого воздуха. Использование эрлифтов в гидротранспортных и гидроподъемных установках обеспечивает высокую производительность, непрерывность технологического процесса, снижает аварийность и повышает безопасность работ. Эрлифты обладают рядом преимуществ, главные из которых – простота конструкции, отсутствие движущихся и быстроизнашиваемых деталей. Благодаря чему достигается высокая надежность и долговечность в работе, возможность транспортирования и подъема гидросмесей с высокой концентрацией твердой фракции, не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. обладает свойством автоматического саморегулирования, не требует существенных затрат при изготовлении и монтаже, не создает высоких давлений в трубе, что обеспечивает безопасность в обслуживании. Малооперационность и непрерывность технологических процессов, а также свойство самонастраивания создают хорошие условия создания и применения автоматического управления эрлифтами и гидротранспортными системами с их использованием.

Единственным сдерживающим фактором более широкого применения эрлифтов является их высокая энергоемкость из-за сравнительно низкого к.п.д. (в сравнении с радиальными насосами, грунто-

выми насосами и углесосами к.п.д. которых составляет 50 – 70 % , к.п.д. эрлифтов не превышает 40 %). Однако, в ряде случаев, например в эрлифтно – земснарядных комплексах при работе эрлифтов с большими значениями относительных погружений к.п.д. эрлифтов весьма высокий и сравним с к.п.д. названных центробежных машин.

Поэтому, для более широкого использования эрлифтов в различных отраслях промышленности актуальным в настоящее время является вопрос рационального использования энергии сжатого воздуха в эрлифте с целью повышения к.п.д.

Анализ исследований и публикаций.

В работах [1, 2] приведены теоретические основы рабочих процессов эрлифтов и конструкции эрлифтных установок для различных условий их применения. В работе [3] приведены результаты теоретических, экспериментальных и промышленных исследований эрлифтных установок, гидравлический расчет эрлифтов и их конструктивных элементов. В работах [4 – 5] рассмотрены вопросы использования эрлифтов в качестве средств гидромеханизации в различных технологических процессах. В работе [6] решены вопросы по определению мощности, необходимой для подъема воды на заданную высоту.

Цель работы.

Работа является продолжением указанных публикаций и предназначена для решения вопроса по определению действительного удельного расхода сжатого воздуха. Эти исследования необходимы для проектирования эрлифтов, используемых в качестве средств гидромеханизации в различных отраслях промышленности.

Результаты исследований.

Расход сжатого воздуха при известном давлении в смесители определяет мощность, затрачиваемую в эрлифте для подъема воды. Поэтому весьма важно знать значение расхода воздуха, потребляемого эрлифтом в различных условиях. Анализ удобно проводить используя безразмерный параметр – удельный расход воздуха [1]:

$$q = \frac{Q_в}{Q_э} \quad (1)$$

где $Q_в$ - расход воздуха, м³/с, $Q_э$ – подача эрлифта, м³/с.

В теоретическом эрлифте, в котором отсутствует рассеивание энергии, мощность внесенная сжатым воздухом используется только на подъем воды на высоту H и создание скорости на выходе $g_в$.

Исходя из этого:

$$\rho g Q_{\text{э}} \left(H + \frac{g^2}{2g} \right) = Q_{\text{в}} p_a \ln \frac{p_a + \rho g h}{p_a} \quad (2)$$

$$\rho g \left(H + \frac{g^2}{2g} \right) = q_T p_a \ln \frac{p_a + \rho g h}{p_a} \quad (3)$$

где q_T – теоретический удельный расход воздуха.

Решив уравнение (3) относительно q_T получим:

$$q_T = \frac{\rho g H \left(1 - \frac{g^2}{2gH} \right)}{p_a \ln \frac{p_a + \rho g h}{p_a}} \quad (4)$$

В уравнении (4) величиной $\frac{g^2}{2gH}$ можно пренебречь, так как отношение скоростного напора к высоте подъема незначительно, тогда:

$$q_T = \frac{\rho g H}{p_a \ln \frac{p_a + \rho g h}{p_a}} \quad (5)$$

или, выразив высоту подъема через относительное погружение, получим зависимость теоретического удельного расхода воздуха в эрлифте:

$$q_T = \frac{\rho g h}{p_a \ln \frac{p_a + \rho g h}{p_a}} \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha} \quad (6)$$

Из этой зависимости следует, что теоретический удельный расход воздуха зависит от относительного погружения α при одном и том же абсолютном погружении h и давлении в системе $\rho g h$. На рисунке 1 приведены зависимости $q_T = f(\alpha)$ при различных h .

В эрлифте энергия воздуха расходуется в основном на подъем воды, но часть ее теряется вследствие проскальзывания, т.е., благодаря наличию скорости воздуха относительно воды.

| α \ h | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
|--------------|--------|-------|------|------|------|
| 5 | 11,099 | 4,93 | 2,87 | 1,84 | 1,23 |
| 10 | 12,98 | 5,77 | 3,36 | 2,16 | 1,44 |
| 20 | 16,38 | 7,28 | 4,24 | 2,73 | 1,82 |
| 30 | 19,48 | 8,65 | 5,05 | 3,24 | 2,16 |
| 40 | 22,37 | 9,94 | 5,80 | 3,72 | 2,48 |
| 50 | 25,12 | 11,16 | 6,51 | 4,18 | 2,79 |

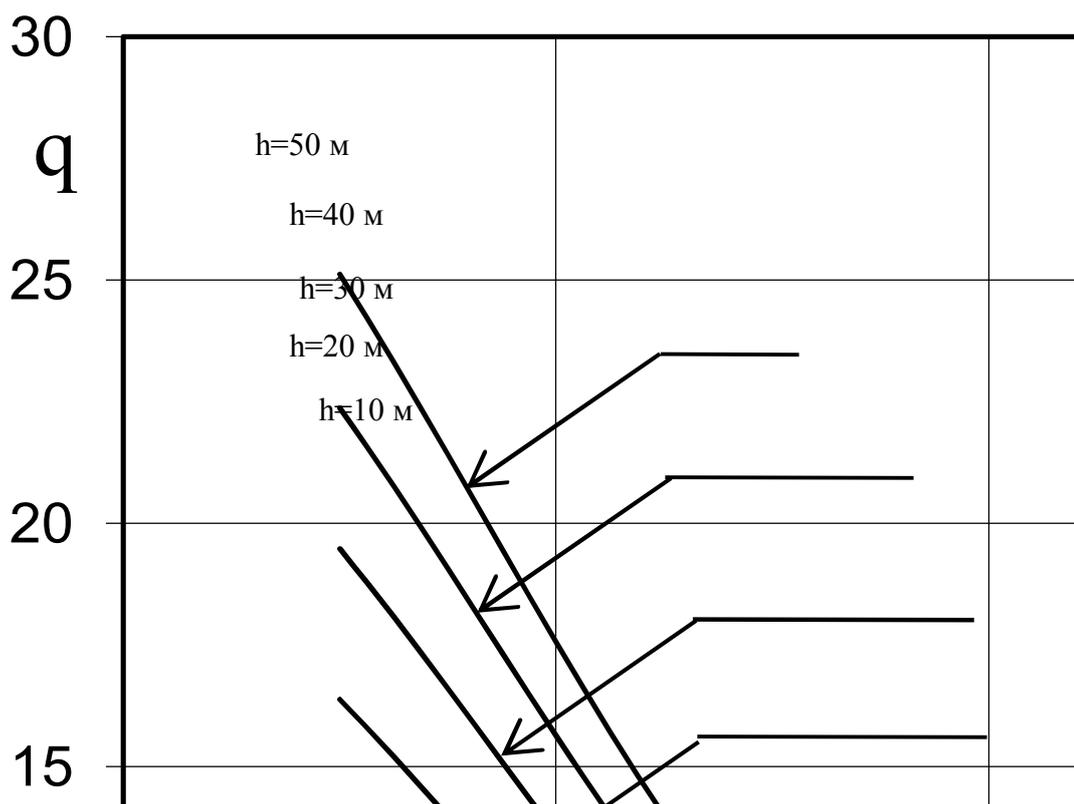


Рис. 1. Графики зависимости q_T от α для различных глубин погружения смесителя

Наличие относительной скорости не изменяет абсолютную скорость смеси, так как пространство освобожденное проскальзывающим объемом воздуха, заполняется водой, и объем смеси, проходящей через определенное сечение подъемной трубы, остается таким же, как и при подсчете его без учета относительного движения воздуха. Относительное движение воздуха увеличивает его расход, а следовательно понижает коэффициент полезного действия эрлифта. Точно определить потери в следствии проскальзывания воздуха при современном состоянии изученности вопроса движения водовоздушной смеси в подъемной трубе эрлифта не представляется возможным.

Считаем, что оценку этих потерь можно сделать исходя из следующих соображений: при определенном количестве воздуха подаваемого в эрлифт, смесь воды с воздухом поднимается на полную высоту подъемной трубы, но вода из нее не изливается. Это количество воздуха и можно принимать как потери его вследствие проскальзывания. На основании исследований ряда авторов [1-4] получена следующая зависимость для определения расхода воздуха, который теряется вследствие проскальзывания:

$$Q_{в.о.} = F \vartheta_0 \left(\frac{p_a + \rho gh}{p_a} \right) (1 - \alpha), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7)$$

где $Q_{в.о.}$ - расход воздуха, который теряется вследствие проскальзывания, $\text{м}^3/\text{мин}$; ϑ_0 - относительная скорость воздуха, принимается $\vartheta_0 \cong 0,25-0,3 \text{ м/с}$; F - площадь сечения подъемной трубы эрлифта, м^2 ; h - абсолютное погружение эрлифта, м ; α - относительное погружение эрлифта.

Приняв $\vartheta_0 \cong 0,3 \text{ м/с}$ и выразив площадь сечения подъемной трубы F через диаметр D м , получим зависимость (1) в следующем виде:

$$Q_{в.о.} = 0,2355 D^2 \left(\frac{p_a + \rho gh}{p_a} \right) (1 - \alpha), \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8)$$

Действительный удельный расход воздуха, т.е. количество воздуха, затрачиваемое на подъем 1 м^3 воды в эрлифте может быть найден по формуле:

$$q = \frac{Q_v}{Q_\vartheta} = K \cdot q_T = q_T + \frac{Q_{в.о.}}{Q_\vartheta} = q_T + \frac{0,2355 \left(\frac{p_a + \rho gh}{p_a} (1 - \alpha) \right)}{CD^{2,5}} \quad (9)$$

где K - коэффициент расхода воздуха, C - коэффициент производительности эрлифта определяется по зависимости (20) [6]:

$$C = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2(q p_a \ln \frac{p_a + \rho gh}{p_a} - \rho gh)}{(\rho + \rho_v q) \left[(1 + q^2) \frac{D^5}{D_e^4} + 1,1 \lambda (H + h) \left(1 + \frac{q p_a \ln \frac{p_a + \rho gh}{p_a}}{\rho gh} \right)^2 \right]}}, \frac{\text{м}^{0,5}}{\text{с}} \quad (10)$$

D_e - диаметр подъемной трубы в выходном сечении, м .

В уравнении (10) подставим значение H выраженное через h и α , а также выразив из зависимости (5) $p_a \ln \frac{p_a + \rho gh}{p_a}$ через q_T , и проведя соответствующие преобразования получим:

$$C = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2\rho gh(\frac{1}{\alpha}-1)(K-1)}{(\rho + \rho_v q) \left[(1+q^2) \frac{D^5}{D_v^4} + 1,1\lambda(H+h) \left(1 + \frac{qp_a \ln \frac{p_a + \rho gh}{p_a}}{\rho gh}\right)^2 \right]}}, \frac{M^{0,5}}{c} \quad (11)$$

С учетом значения коэффициента производительности C уравнение (9) примет следующий вид:

$$Kq_T = q_T + \frac{0,2355 \left(\frac{p_a + \rho gh}{p_a} (1-\alpha) \right)}{\frac{\pi}{4} D^{0,5} \sqrt{\frac{2\rho gh(\frac{1}{\alpha}-1)(K-1)}{(\rho + \rho_v Kq_T) \left\{ (1+K^2 q^2) \frac{D^5}{D_v^4} + 1,1\lambda \frac{h}{\alpha} \left[1 + K \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \right]^2 \right\}}}} \quad (12)$$

Из уравнения (12) найдем значение коэффициента расхода воздуха K .

Для решения данного уравнения зададимся определенными данными:

$h = 30$ м, $\rho = 1020$ кг/м³, $g = 9,81$ м/с², $\alpha = 0,3$, $D = 0,2$ м, $P_a = 10^5$ Па, $D_v = 0,25$ м, $\rho_v = 1,2$ кг/м³, $\lambda = 0,03$.

В результате ряда преобразований выражения (12) получим кубическое уравнение:

$$103610k^3 - 202042k^2 - 250136k + 25221 = 0$$

Решением данного уравнения будут корни

$$k_1 = -0.929$$

$$k_2 = 2.785$$

$$k_3 = 0.094$$

k_1 и k_3 не являются решениями уравнения, следовательно решением является $k=2,785$.

Индикаторный изотермический к.п.д. эрлифта:

$$\eta_i = \frac{N_{II}}{N_i} = \frac{\rho g Q_{\text{э}} H}{p_a q Q_{\text{э}} \ln \frac{p_a + \rho g h}{p_a}} \quad (14)$$

где N_{II} – полезная мощность, Вт; N_i – мощность передаваемая сжатым воздухом воде, принимая изотермический процесс расширения воздуха

$$N_i = p_a q Q_{\text{э}} \ln \frac{p_a + \rho g h}{p_a}, \text{ Вт.} \quad (15)$$

Преобразовав зависимость (14) с учетом уравнений (5) и (9) получим:

$$\eta_i = \frac{q_T}{q} = \frac{q_T}{K q_T} = \frac{1}{K} \quad (16)$$

Полный к.п.д. эрлифтной установки с учетом потерь в компрессоре, двигателе, сети определяется отношением полезной мощности к мощности потребляемой двигателем компрессора.

Полный изотермический к.п.д. эрлифтной установки может быть определен по формуле:

$$\eta_{\text{э}} = \eta_i \eta_{\text{д}} \eta_{\text{II}} \eta_{\text{ki}} \eta_{\text{с}} \quad (17)$$

где η_i – изотермический к.п.д. эрлифта, определяемый по зависимости (8);

$\eta_{\text{д}}$ – к.п.д. двигателя компрессора, может быть принят 0,9;

η_{II} – к.п.д. передачи;

η_{ki} – изотермический к.п.д. компрессора;

$$\eta_{\text{ki}} = i_{\text{иуз}} \eta_{\text{мех}} = 0,75 \cdot 0,9 = 0,67 \quad (18)$$

$\eta_{\text{с}}$ – к.п.д. воздухопроводной сети, определяется в зависимости от качества уплотнений и утечек воздуха.

Принимая средние значения коэффициентов полезного действия получим следующие значения к.п.д. эрлифтной установки:

- если двигатель находится на одном валу с компрессором

$$\eta_{\text{э}} = 0,5 \eta_i \quad (19)$$

- если применяется ременная передача

$$\eta_{\text{э}} = 0,46 \eta_i \quad (20)$$

Выводы.

В результате исследований получена зависимость коэффициента расхода воздуха в эрлифте K ; данная зависимость позволяет определить действительный удельный расход воздуха при различных значениях абсолютного h и относительного α погружений эрлифта, а также рассчитать коэффициент полезного действия эрлифта. Результаты исследований могут быть использованы при расчете и проектировании эрлифтных установок в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Эрлифтные установки: учебное пособие / В.Г. Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко и др. – Донецк: ДПИ, 1982.
2. Гидроподъем полезных ископаемых / Я.К. Антонов, Л.Н. Козыряцкий, В.А. Малашкина и др. – М: Недра, 1995.
3. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко и др. – Донецк, 1995.
4. Гейер В.Г. Новые технологические схемы и средства шахтного водоотлива: конспект лекций / В.Г. Гейер. – Донецк: ДПИ, 1972.
5. Гідромеханізація: навч. посібник / М.Г. Бойко, В.М. Моргунов, Л.М. Козыряцкий. – Донецк: ДонНТУ, 2010.
6. Козыряцкий Л.Н. Баланс мощности в подъемной трубе эрлифта; промислова гідраліка і пневматика / Л.Н. Козыряцкий, О.В. Федоров, О.А. Геммерлинг. – 2011. – №2. – С. 27 – 29.

Стаття надійшла до редколегії 12.11.2011.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Г. Бойко

Л.Н. Козыряцкий, В.І. Мізерний, О.В. Литвак. Витрати стисненого повітря в підйомній трубі ерліфта. Отримано залежності для визначення дійсних питомих витрат стисненого повітря в підйомній трубі ерліфта і повного к.к.д. ерліфтної установки.

Ключові слова: ерліфт, витрата, швидкість, подача, труба, стиснене повітря, втрати, водоповітряна суміш.

L. Kozuryatsky, V. Mizerny, A. Litvak. Compressed Air Consumption in the Lifting Pipe of an Airlift. The dependencies to determine the actual specific consumption of compressed air in the lifting pump of an airlift and the full efficiency of an airlift installation are obtained.

Keywords: airlift, expense, speed, giving, pipe, compressed air, losses, water-air mix.