

УДК 621.695

А. В. Игнатов, А. П. Стегниенко, Т. Ю. Варавкина, Д. А. Атрощенко

*ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина*

## Сравнительный анализ энергозатрат при осушении емкостей одноступенчатой и многоступенчатой эрлифтными установками

Определены критерии для определения целесообразности применения многосекционных эрлифтных установок для снижения энергозатрат. Получены зависимости для определения максимально допустимого значения относительного погружения смесителя эрлифта, при котором энергозатраты многосекционной установки меньше энергозатрат односекционной установки.

Ключевые слова: эрлифт, энергозатраты.

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

С 1980 года мировое потребление энергии возросло на 45%. Согласно прогнозам к 2030 году возрастет еще до 70%. Сейчас остро стоит вопрос об эффективном использовании энергоресурсов.

Топливо-энергетический комплекс – одна из важнейших структурных составляющих экономики Украины, поэтому задача сокращения затрат энергии на его предприятиях является актуальной.

Промышленные предприятия представляют собой огромную энергоемкую сферу. Непрерывно увеличивается количество техники, которая используется в производственных процессах, а если взять во внимание постоянный рост цен на энергоносители, то вопрос об экономии электроэнергии становится особо актуальным.

На сегодняшний день доля энергозатрат в себестоимости продукции топливо-энергетического комплекса страны во много раз больше, чем в западноевропейских странах.

Особенностью топливо-энергетического баланса Украины является высокий удельный вес угля, поэтому увеличение его добычи является одним из приоритетных направлений развития. Как следствие, появляется необходимость проведения новых стволов.

Процесс проведения шахтных вентиляционных стволов методом бурения предусматривает их осушение перед соединением ствола с шахтой.

Это влечет за собой необходимость совершенствования процессов водоотлива и очистки шахтных технологических емкостей.

Хотя коэффициент полезного действия работы насосных установок выше, чем у эрлифтных, они чаще выходят из строя и требуют ремонта. Поэтому общий КПД данных установок соизмерим. Исходя из вышесказанного, эрлифтная установка является одним из простейших и эффективных средств откачки пульпы и воды из водоотливных емкостей.

При бурении шахтных стволов используются компрессоры с постоянной подачей сжатого воздуха.

Таким образом задача снижения энергозатрат при работе эрлифтной установки с постоянным расходом сжатого воздуха является актуальной.

### 2. Анализ исследований и публикаций.

В настоящее время в литературе отсутствуют исследования, посвященные анализу энергозатрат эрлифтной установки при переменном погружении смесителя и постоянном расходе воздуха.

### 3. Постановка задачи.

Известно[1], что применение ступенчатой схемы эрлифтного гидроподъема приводит к снижению энергозатрат. При этом расход сжатого воздуха, поступающего от шахтных стационарных компрессорных установок является переменной величиной. Применение ресивера не сглаживает изменение расхода сжатого воздуха при изменении погружения смесителя.

На основании поставленной проблемы и анализа публикаций ставится задача сравнительного анализа энергозатрат одноступенчатой и многоступенчатой эрлифтных установок при постоянном расходе воздуха.

### 4. Изложение материала и результаты.

Коэффициент полезного действия одноступенчатой эрлифтной установки можно определить следующим образом

$$\eta_1 = \frac{N_{пол}^1}{N_{потр}^1},$$

где  $N_{пол}^1$  - полезная мощность односекционного эрлифта;

$N_{потр}^1$  - потребляемая мощность односекционной эрлифтной установки.

$$N_{пол}^1 = \rho g Q_1 H,$$

где  $\rho$  - плотность транспортируемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g = 9,8 м/с^2$  - ускорение свободного падения;

$Q_1$  - подача односекционного эрлифта, м<sup>3</sup>/с;

$H$  - высота подъема гидросмеси, м.

$$N_{потр}^1 = P_a Q_v \ln\left(\frac{P_a + P_{см}}{P_a}\right),$$

где  $P_a$  - атмосферное давление, Па;

$P_{см}$  - давление в смесителе, Па;

$Q_v$  - расход сжатого воздуха м<sup>3</sup>/с.

Коэффициент полезного действия многосекционной эрлифтной установки:

$$\eta_n = \frac{N_{пол}^n}{N_{потр}^n},$$

где  $N_{пол}^n$  - полезная мощность многосекционной эрлифтной установки;

$N_{потр}^n$  - потребляемая мощность многосекционной эрлифтной установки.

$$N_{пол}^n = n \rho g Q_n \frac{H}{n},$$

где  $n$  – число ступеней с одинаковыми высотами подъема жидкости  $H = H/n$ , глубиной погружения смесителя  $h$  (такой же, как и для односекционного эрлифта), производительностью  $Q_n$  и диаметром подъемной трубы.

$$N_{потр}^n = n P_a Q_v \ln\left(\frac{P_a + P_{см}}{P_a}\right).$$

Для сравнительной оценки энергоемкости односекционной и многосекционной эрлифтной установок используем отношение коэффициентов полезного действия этих установок.

$$K = \frac{\eta_n}{\eta_1} = \frac{Q_n}{nQ_1}$$

Производительность эрлифта определяется из следующей зависимости [2]:

$$Q_{\text{э}} = Cd_n^{2.5}$$

где  $C$  - коэффициент производительности эрлифта;

$d_n$  - диаметр подъемной трубы эрлифтной установки, м.

В работе [3] установлено, что

$$C = -1,96 + 8,96\alpha + 2,574\left(1 - e^{-0,5\left(\frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{б.о.}}} - 1\right)}\right),$$

где

$$Q_{\text{б.о.}} = 2,5d_n^{2,5}\left(1 - \frac{h}{L_p}\right)\left(1 + \frac{h}{10}\right)$$

Относительное погружение смесителя равно:

$$\alpha = \frac{h}{L_p},$$

где  $h$  – глубина погружения смесителя, м;

$L_p$  – высота подъема, м.

На рисунке 1 приведена зависимость  $C = f(\alpha)$  при различных значениях расхода воздуха.

Из графика видно, что эта зависимость при постоянном расходе сжатого воздуха близка к линейной.

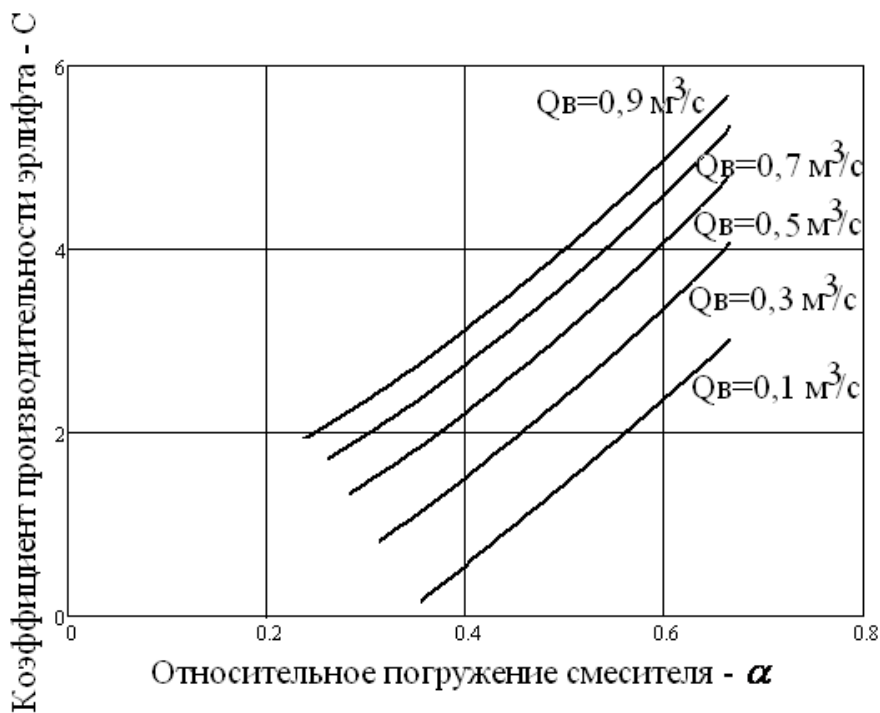


Рис.1. Зависимость коэффициента производительности установки от относительного погружения смесителя при различных значениях расхода воздуха

$$K = \frac{b_0 + b_1 \cdot \frac{h}{h + \frac{H}{n}}}{(b_0 + b_1 \cdot \frac{h}{h + H})n}$$

Снижение энергозатрат будет при  $K > 1$ , отсюда

$$\frac{n-1}{(n \cdot \frac{h}{H} + 1) \cdot (\frac{b_0}{b_1} \cdot (1 + \frac{H}{n}) + 1)} > n-1$$

Введем замену:  $\frac{h}{H} = t$   
Тогда

$$t^2 \cdot (n + n \cdot \frac{b_0}{b_1}) + t \cdot (\frac{b_0}{b_1} + n \cdot \frac{b_0}{b_1}) + \frac{b_0}{b_1} < 0$$

$$t = \frac{-(n + n \cdot \frac{b_0}{b_1}) + \sqrt{(\frac{b_0}{b_1} + n \cdot \frac{b_0}{b_1})^2 - 4 \cdot (n + n \cdot \frac{b_0}{b_1}) \cdot \frac{b_0}{b_1}}}{2 \cdot (n + n \cdot \frac{b_0}{b_1})} \quad (3)$$

Отсюда следует, что при значении отношения  $h/H$  в пределах от 0 до значения  $t$ , рассчитанного по зависимости (3), применение многосекционной схемы эрлифтного гидроподъема обеспечивает снижение энергозатрат.

Учитывая, что  $\alpha = \frac{h}{h+H} = \frac{t}{1+t}$  (3) получим максимальное значение относительного погружения эрлифта . при котором применение многосекционной схемы позволит снизить энергозатраты.

На основании данной зависимости получен график изменения максимального относительного погружения смесителя эрлифта от количества ступеней (рисунок 2).

При значениях  $\alpha$  больших приведенных на рис. 2, применение многосекционных эрлифтных установок с точки зрения экономии энергии нецелесообразно.

Кроме того известно, что применение многосекционных эрлифтных установок при переменном расходе сжатого воздуха требует для обеспечения устойчивой работы установки применения системы автоматического или дистанционного управления. В этом случае питание сжатым воздухом отдельных ступеней осуществляется от общего коллектора компрессорной станции. Эксплуатировать такие установки сложно из-за динамической неустойчивости всей механической системы в целом. [1]

Целесообразность применения такой системы автоматического управления при постоянном расходе сжатого воздуха является предметом дальнейших исследований.

Максимальное значение относительного погружения эрлифта, при котором применение многосекционной схемы позволит снизить энергозатраты.

На основании данной зависимости получен график изменения коэффициента пропорциональности между глубиной погружения и высотой подъема от количества ступеней (рисунок 2).

При значениях  $\alpha$  больших приведенных на рис.2, применение многосекционных эрлифтных установок с точки зрения экономии энергии нецелесообразно.

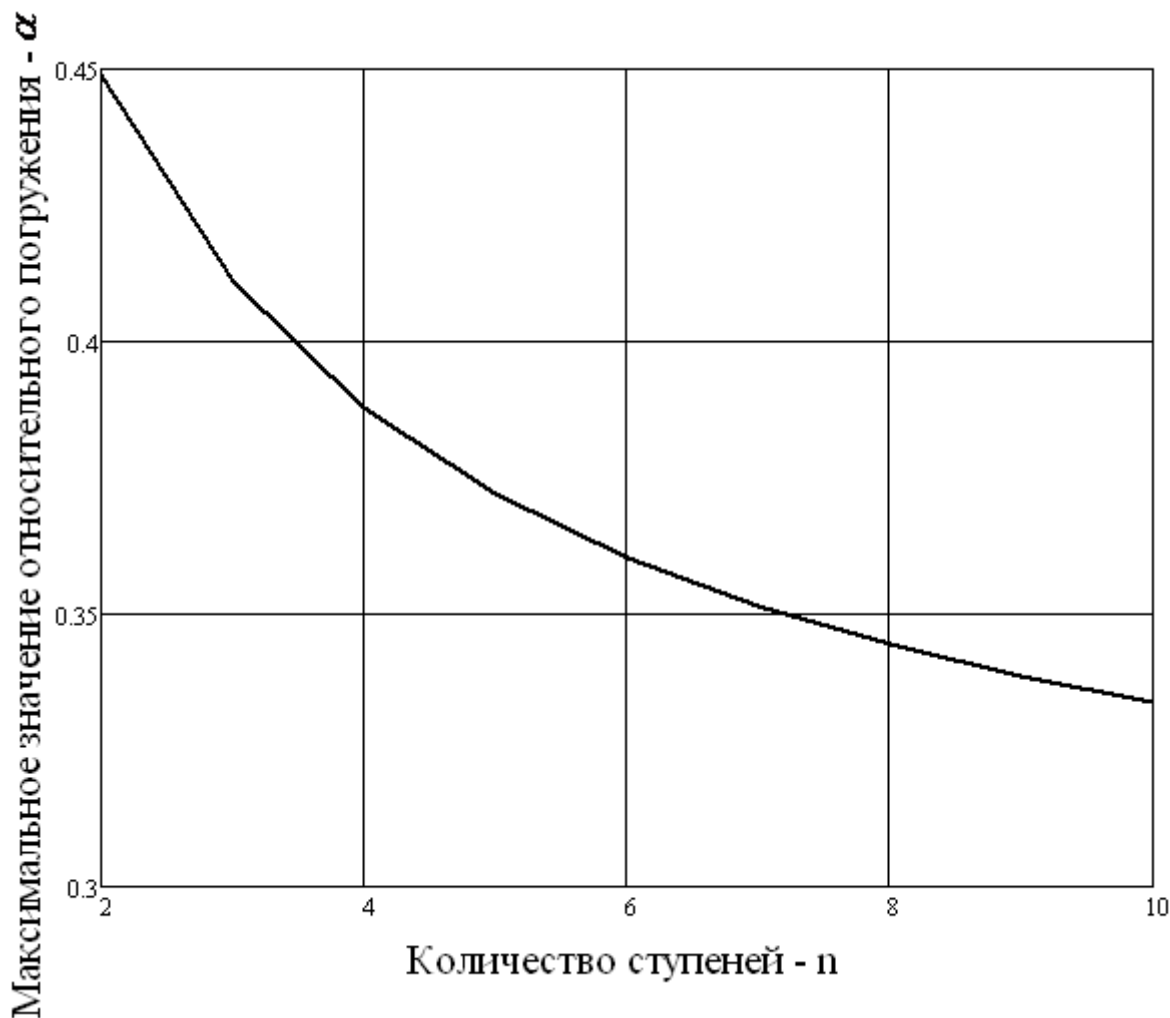


Рис. 2. Изменение максимального относительного погружения смесителя эрлифта при увеличении количества ступеней

### 5. Выводы и направление дальнейших исследований.

Определены критерии для определения целесообразности применения многосекционных эрлифтных установок для снижения энергозатрат.

Получены зависимости для определения максимально допустимого значения относительного погружения смесителя эрлифта, при котором энергозатраты многосекционной установки меньше энергозатрат односекционной установки.

В дальнейших исследованиях следует выяснить необходимость применения системы автоматического управления для многосекционной эрлифтной установки при постоянном расходе сжатого воздуха.

Необходимо также исследовать влияние высоты гидроподъема погружения смесителя на целесообразность применения многоступенчатой схемы эрлифтного гидроподъема.

### Библиографический список

1. Логвинов Н.Г. Исследование автоматического регулирования эрлифтных гидроподъемников / Н.Г. Логвинов // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 1967. - Вып.9. – С. 96.
2. Эрлифтные установки: учебное пособие / [В.Г. Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, Я.К. Антонов]. – Донецк: ДПИ, 1982. – 64 с.

3. Малеев В.Б. Работа эрлифта при постоянном расходе сжатого воздуха / В.Б. Малеев, А.В. Игнатов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Гірничо-геологічна». – 2008. - Вип. 7(135). - С. 108-113.

Надійшла до редакції 07.09.2012

А. В. Ігнатов, А. П. Стегнієнко, Т. Ю. Варавкіна, Д. А. Атрощенко

### Порівняльний аналіз енерговитрат при осушенні ємностей одноступінчастими і багатоступінчастими ерліфтними установками

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна*

Визначено критерії для визначення доцільності застосування багатосекційних ерліфтних установок для зниження енерговитрат. Отримано залежності для визначення максимально допустимого значення відносного занурення змішувача ерліфта, при якому енерговитрати багатосекційний установок менше енерговитрат односекційний установок.

Ключові слова: ерліфт, енерговитрати.

A. V. Ignatov, A. P. Stegnienko, T. Y. Varavkina, D. A. Atroschenko

### Comparative Analysis of Energy Consumption during Tanks Draining by Means of Single- and Multi-Section Airlift Units.

*Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine*

The paper considers the question whether the use of multisection airlift units will reduce energy costs. We found the dependences for determining the maximum permissible value of the relative depth of the airlift mixer, at which the energy consumption of a multi-section unit is less than the energy consumption of a single-section unit.

Keywords: airlift, energy consumption.