

УДК 622.276.52

А. В. Игнатов, канд. тех. наук, Т. Ю. Варавкина

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Определение базовых параметров для расчета расходных характеристик эрлифта

На основании проведенных в ДонНТУ теоретических и экспериментальных исследований определены значения оптимального коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта. Установлено, что оптимальный расход сжатого воздуха более корректно зависит от относительного погружения эрлифта, чем барботажный. Получено логарифмическое уравнение регрессии для расходных характеристик эрлифта в относительных параметрах. Разброс между экспериментальными данными и полученной зависимостью составляет 6%.

Ключевые слова: эрлифт, оптимальный коэффициент производительности, оптимальный интегрированный коэффициент, барботажный объем воздуха, относительные параметры.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Топливо-энергетический комплекс Украины играет немаловажную роль в процессе становления экономики страны, поскольку на его долю приходится 11% стоимости промышленной продукции.

Главным ресурсом топливо-энергетического комплекса является уголь. Совершенствование процесса добычи угля влечет за собой необходимость улучшения шахтного водоотлива и очистки технологических емкостей от твердого материала. Особое внимание уделяется энергоемкости и энергоэффективности производства.

В настоящее время угольная промышленность находится на границе, когда закрываются старые и запускаются в эксплуатацию новые горизонты и пласты. Поэтому остро стоит вопрос, с одной стороны: о поддержании уровня воды в законсервированных шахтах во избежание заболачивания местности, а с другой: быстрый ввод в эксплуатацию шахтных выработок, для поддержания режимов проветривания, соответствующих правилам безопасности. Появляется необходимость проведения дополнительных вентиляционных стволов за короткие сроки. Технология сооружения шахтных стволов способом бурения предусматривает откачку промысловой жидкости для обеспечения безопасных работ по сбойке ствола с шахтными выработками и проверки качества крепи. Таким образом, сроки ввода в эксплуатацию вентиляционных стволов существенно зависят от времени их осушения.

Одним из простейших средств откачки воды и пульпы из водоотливных емкостей является эрлифтная установка. Применение эрлифта позволяет эффективно и в достаточно короткие сроки выполнить осушение стволов. В то же время, эрлифтный гидроподъем не требует больших капиталовложений, трудозатрат в обслуживании и конструктивно прост. Однако эрлифт - довольно энергоемкий гидроподъем.

Эффективное использование эрлифта возможно при работе с оптимальными режимными параметрами: расходом сжатого воздуха и производительностью, при которых коэффициент полезного действия эрлифта имеет максимальное значение. Эти параметры являются базовыми при расчете расходных характеристик эрлифта.

В связи с изложенным выше, задача определения оптимальных параметров эрлифтных установок является актуальной.

Анализ исследований и публикаций

В работе [1] получены аналитические зависимости, позволяющие определять оптимальный расход сжатого воздуха эрлифтом.

$$Q_{\text{в}}^{\text{opt}} = K_{\text{opt}} \cdot d_n^{2,5}, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (1)$$

где q_{opt} – оптимальный удельный расход сжатого воздуха;

K_{opt} – оптимальный коэффициент производительности подъемной трубы эрлифта;

© А. В. Игнатов, Т. Ю. Варавкина, 2013

K_{opt} – оптимальный интегрированный коэффициент подъемной трубы эрлифта:

$$K_{opt} = 1105\alpha^{-0,723} - 910,634, \quad (2)$$

где α – относительное погружение.

Однако в настоящее время в литературе отсутствуют дальнейшие разработки вопросов аналитического определения параметров оптимального режима работы в подъемной трубе эрлифта и построения на их основе расходных характеристик.

Постановка задачи

На основании поставленной проблемы и анализа публикаций ставится задача исследования оптимального режима работы установки для уточнения аналитической зависимости оптимального коэффициента производительности, а также определения относительной производительности как функции от относительного расхода воздуха (расходной характеристики эрлифта).

Изложение материала и результаты

В работе [1] определены значения оптимального расхода сжатого воздуха подъемной трубы эрлифта при относительном погружении смесителя эрлифта $\alpha = 0,165 \dots 0,750$.

На основании данных, приведенных в работе [2] графическим методом определены значения оптимальной производительности эрлифта для различных значений относительного погружения. Из полученных результатов по зависимости (3) определены значения оптимального коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта:

$$c_{opt} = \frac{Q_3^{opt}}{d_n^{2,5}}, \quad (3)$$

где Q_3^{opt} – оптимальная производительность эрлифта, м³/с; d_n – диаметр подъемной трубы эрлифта, м.

В результате вычислений получено семейство точек оптимального коэффициента производительности, а также линейная зависимость оптимального коэффициента производительности от относительного погружения эрлифта (рис. 1):

$$c_{opt} = 3,88 \cdot \alpha + 0,414. \quad (4)$$

Для вычисления коэффициента производительности в работе [3] получена зависимость:

$$C = -1,96 + 8,96\alpha + 2,574 \left(1 - e^{-0,5 \left(\frac{Q_6}{Q_{6.0}} - 1 \right)} \right), \quad (5)$$

где Q_6 – расход воздуха эрлифта, м³/с; $Q_{6.0}$ – барботажный расход воздуха (объемный расход воздуха, при котором подача эрлифта будет равна нулю):

$$Q_{6.0} = k \cdot d_n^2 (1 - \alpha) \left(1 + \frac{\rho g h}{2P_a} \right), \quad (6)$$

где ρ – плотность транспортируемой жидкости, кг/м³; $g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения; h – глубина погружения смесителя эрлифта; $k = 2..3$ – барботажный коэффициент; P_a – атмосферное давление, Па.

Как видно из рис. 2 определение барботажного объема воздуха по (4) приводит к погрешности до 50 %. В то же время оптимальный расход сжатого воздуха более корректно зависит от относительного погружения эрлифта, что обуславливает большую эффективность применения этого параметра при расчете расходных характеристик эрлифтов.

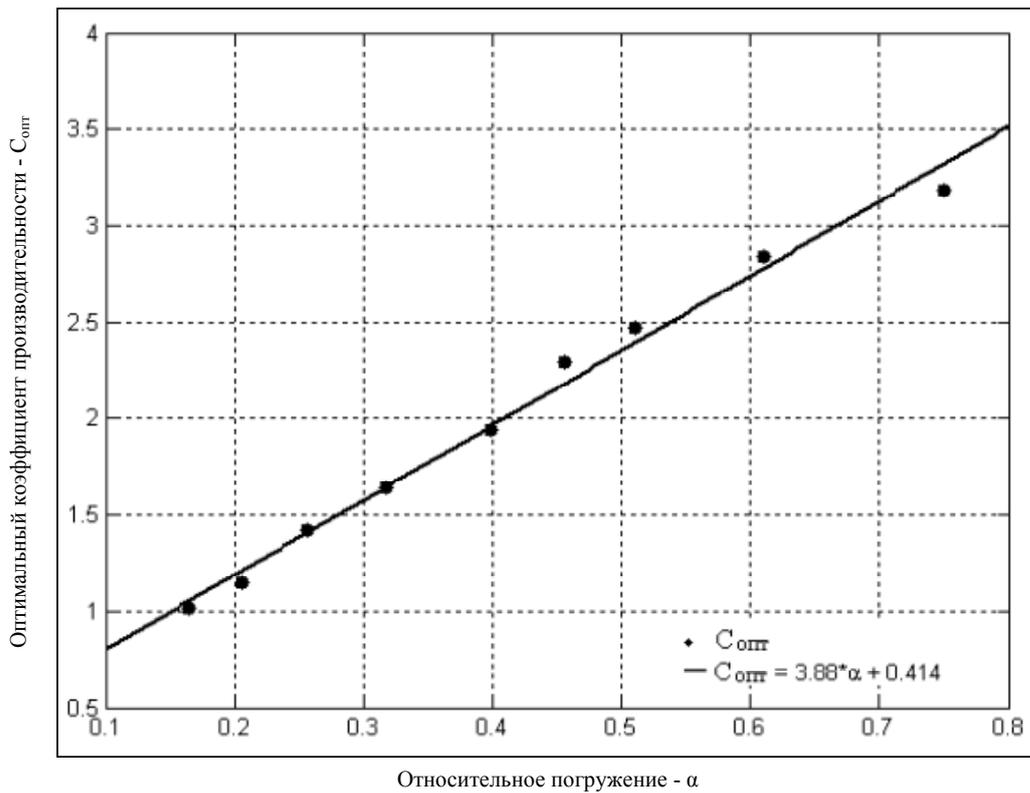


Рис.1. Зависимость оптимального коэффициента производительности от относительного погружения эрлифта

Согласно [4, 5] значения безразмерных расходных характеристик (зависимость относительной производительности эрлифта $\overline{Q_3}$ от относительного расхода воздуха $\overline{Q_6}$) будут располагаться на дуге окружности вида:

$$\overline{Q_3}^2 + (2 - \overline{Q_6})^2 = 2, \quad (7)$$

где относительная производительность определяется по формуле:

$$\overline{Q_3} = \frac{Q_3}{Q_{3,opt}}$$

а относительный расход воздуха:

$$\overline{Q_6} = \frac{Q_6}{Q_{6,opt}}$$

На рис. 3 приведены экспериментальные данные, полученные в работе [2] и теоретическая кривая, построенная по зависимости (7).

Как видно из рис. 3, данное уравнение окружности справедливо для значений логарифма относительного расхода воздуха $-0,5 \leq \ln \overline{Q_6} \leq 0,5$, что соответствует лишь части значений безразмерных характеристик.

Аппроксимируя зависимости относительной производительности от относительного расход сжатого воздуха, получаем логарифмическую зависимость:

$$\overline{Q_3} = -0,25 \cdot \ln^2 \overline{Q_6} + \ln \overline{Q_6} + 0,981, \quad (8)$$

которая так же приведена на рис. 3.

Из графика следует, что значение логарифма относительного расхода воздуха изменяется в пределах: $-0,8 \leq \ln \overline{Q_6} \leq 2,5$, что соответствует изменению относительного расхода воздуха в пределах: $0,45 \leq \overline{Q_6} \leq 12,2$.

Максимальный разброс между экспериментальными данными и аппроксимирующей зависимостью составил 6%.

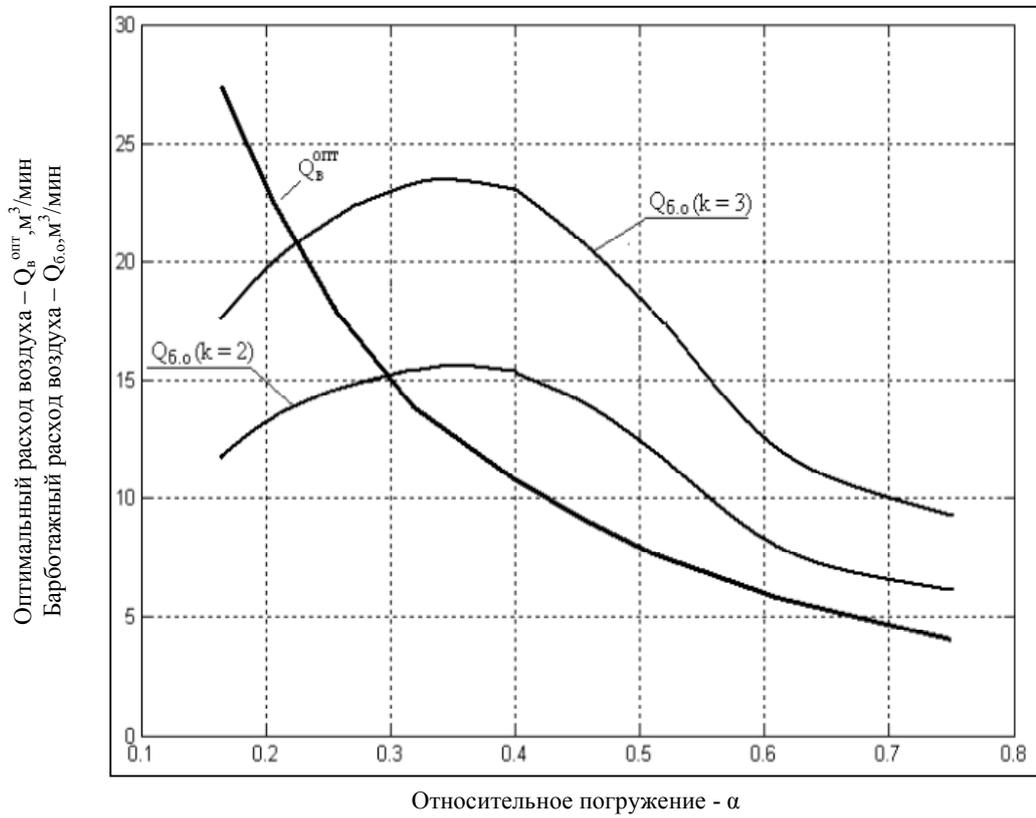


Рис. 2. Зависимость относительного и барботажного расхода воздуха от относительного погружения эрлифта

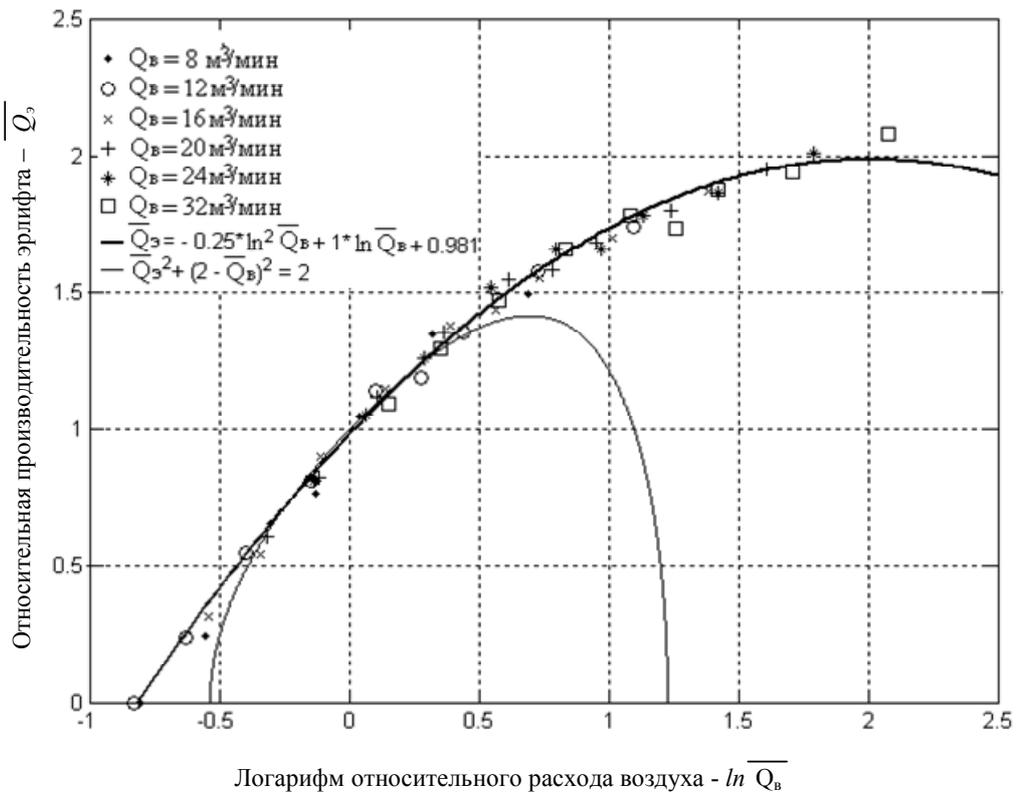


Рис. 3. Сравнение методов расчета безразмерных расходных характеристик эрлифта

Выводы и направление дальнейших исследований

В результате проведенных исследований получена линейная зависимость оптимального значения коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта от относительного погружения его смесителя.

Получено логарифмическое уравнение регрессии для расходных характеристик эрлифта в относительных параметрах.

В дальнейших исследованиях необходимо разработать методику расчета расходных характеристик эрлифтных и насосно-эрлифтных установок, а также их энергетических параметров.

Библиографический список

1. Игнатов А. В. Определение параметров оптимального режима работы / А. В. Игнатов, А. П. Стегниенко, Т. Ю. Варавкина // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2013. – Вип. 1 (23).
2. Костанда В.С. Экспериментальные исследования эрлифта с переменными α и D в условиях откачки ствола / В. С. Костанда // Труды ДПИ. Том 62. – 1961. – Вип. 12. – С. 103–113.
3. Малеев В. Б. Работа эрлифта при постоянном расходе сжатого воздуха / В. Б. Малеев, А. В. Игнатов // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – 2008. – Вип. 7 (135). – С. 108–113.
4. Энциклопедия эрлифтов / [Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, А. П. Кононенко]. – Донецк, 1995. – 592 с.
5. Гейер В. Г. О свойствах безразмерных характеристик эрлифтов / В. Г. Гейер, Н. Г. Логвинов // Разработка месторождений полезных ископаемых: сб. науч. тр. – 1973. – Вип. 31. – С. 51–56.
6. Эрлифтные установки: учебное пособие / [В. Г. Гейер, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, Я. К. Антонов]. – Донецк: ДПИ, 1982. – 64 с.

Надійшла до редакції 13.06.2013

О. В. Игнатов, Т. Ю. Варавкина

ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Визначення базових параметрів для розрахунку видаткових характеристик ерліфта

На підставі проведених в ДонНТУ теоретичних і експериментальних досліджень визначено значення оптимального коефіцієнта продуктивності підйомної труби ерліфта. Встановлено, що оптимальна витрата стисненого повітря більш коректно залежить від відносного занурення ерліфта, ніж барботажна. Отримано логарифмічне рівняння регресії для витратних характеристик ерліфта у відносних параметрах. Розкид між експериментальними даними та отриманою залежністю становить 6%.

Ключові слова: ерліфт, оптимальний коефіцієнт продуктивності, оптимальний інтегрований коефіцієнт, барботажний об'єм повітря, відносні параметри.

A. Ignatov, T. Varavkina

Donetsk National Technical University, Ukraine

Determining basic parameters for calculation of expenditure characteristics of an airlift

On the basis of theoretical and experimental studies carried out at DonNTU we determined the optimal value of the coefficient of airlift riser pipe performance. We found that the optimal flow of compressed air depends on the relative immersion of the airlift more correctly than bubbling. We obtained a logarithmic regression equation for expenditure characteristics of an airlift in relative parameters. The spread between the experimental data and the resulting dependence is 6%.

Keywords: airlift, optimal performance ratio, optimal integrated coefficient, bubbling air volume, relative parameters.