

УДК 622.5:621.695

Работа эрлифта при постоянном расходе сжатого воздуха

Малеєв В. Б., Ігнатів А. В.

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Аннотация

Исследованы параметры эрлифта работающего при постоянном расходе сжатого воздуха. Рассмотрены вопросы определения коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта.

1. Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Увеличение добычи угля является одним из приоритетных направлений развития современного топливно-энергетического комплекса Украины. Этот процесс требует дальнейшего совершенствования процессов водоотлива и очистки шахтных технологических емкостей от твердого материала. Одним из простейших средств откачки воды и пульпы из водоотливных емкостей является эрлифт, обладающий свойством самовыравнивания своей подачи.

При откачке жидкости или пульпы из шахтных технологических емкостей при неизменной длине подъемной трубы изменяется уровень жидкости в них и, соответственно, погружение смесителя, как геометрическое h , так и относительное α . Рабочий режим перемещается на новую расходную характеристику (рис. 1). Оптимальный рабочий режим эрлифтной установки при $\alpha = \text{const}$ определяется касательной, проведенной из начала координат к расходной характеристике – точка O ($Q_{в.опт.}$; $Q_{э.опт.}$). При изменении h или α рабочий режим перемещается соответственно в точку 1 или 2, что приводит также к изменению расхода воздуха $Q_{в.1}$ и $Q_{в.2}$. В качестве источников сжатого воздуха используются либо турбокомпрессоры, работающие на общешахтную сеть, либо более компактные и мобильные компрессоры объемного действия. При использовании турбокомпрессоров сжатый воздух поступает через общешахтную сеть, имеющей большую емкость. Согласно [1] изменение подачи воздуха в смеситель эрлифта при этом происходит не ранее чем через 10 секунд. Таким образом, при изменении погружения смесителя эрлифта расход воздуха остается практически постоянным и поэтому рабочий режим перемещается практически в точки 1' или 2', что не является оптимальным, так как КПД эрлифта будет меньше максимального значения.

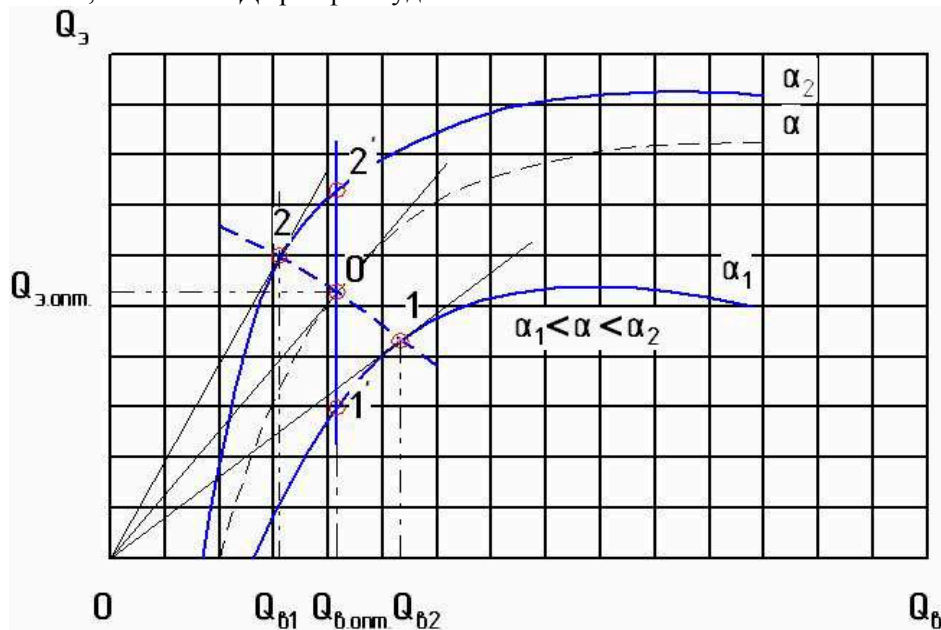


Рис. 1. Изменение рабочего режима эрлифта в процессе откачки

Таким образом задача определения параметров эрлифта при переменном погружении смесителя и постоянном расходе воздуха является актуальной.

2. Анализ исследований и публикаций

В настоящее время в литературе отсутствуют исследования, посвященные анализу варьирования подачи и КПД эрлифта при переменном погружении смесителя и постоянном расходе воздуха.

3. Постановка задачи

На основании поставленной проблемы и анализа публикаций ставится задача определения подачи эрлифта при переменном погружении смесителя (при переменном притоке жидкости в резервуар) и постоянном расходе воздуха.

4. Изложение материала и результаты

Как известно [2], подача эрлифтной установки

$$Q_э = C \cdot d_n^{2,5}, \quad (1)$$

где C и d_n – соответственно коэффициент подачи (производительности) и диаметр подъемной трубы эрлифтной установки.

Для анализа изменения коэффициента производительности эрлифта от относительного погружения при постоянном расходе сжатого воздуха использованы результаты исследований эрлифтов, в том числе и их расходных характеристик, проведенных в течении ряда лет в Донецком политехническом институте [2, 3, 4].

Согласно [3, 4] безразмерные расходные характеристики эрлифтов, построенные в координатах относительный расход сжатого воздуха $\overline{Q}_в$ и относительная производительность эрлифта $\overline{Q}_э$, располагаются на дуге окружности, уравнение которой имеет вид

$$\overline{Q}_э^2 + (2 - \overline{Q}_в)^2 = 2$$

В этом выражении $\frac{Q_э}{Q_{э.онт.}} = \overline{Q}_э$ и $\frac{Q_в}{Q_{в.онт.}} = \overline{Q}_в$. График этой зависимости приведен на рис. 2.

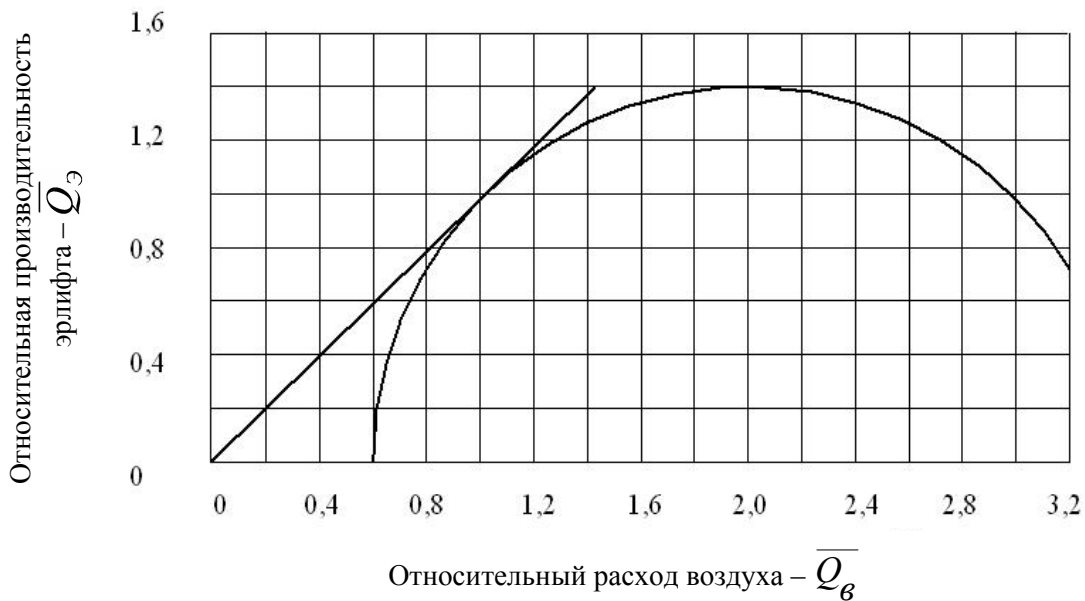


Рис. 2. Безразмерная характеристика эрлифта

Из рисунка 2 видно, что барботажному режиму работы эрлифта на этой характеристике соответствует точка с координатами (0,6; 0); оптимальному режиму – точка (1; 1); рабочему режиму эрлифта – точка с приблизительными координатами (1,2; 1,17), что соответствует [5].

Согласно [2] объёмный расход воздуха при котором подача эрлифта будет равна нулю (наблюдается барботажный режим работы)

$$Q_{\bar{o.o}} = (2...3)d_n^2(1-\alpha)\left(1 + \frac{\rho gh}{2P_a}\right), \quad (2)$$

где ρ – плотность транспортируемой жидкости, кг/м³; $g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения; P_a – атмосферное давление, Па.

Минимальное значение относительного погружения смесителя эрлифта для приведенных в [3] экспериментальных данных составляет $\alpha = 0,0815$. При этом диаметр подъемной трубы $d_n = 0,153$ м и длина подъёмной трубы $H + h = 246$. Определенное для этих данных по зависимости (2) значение объёмного расхода воздуха составляет:

$$Q_{\bar{o.o}} \approx 8 \text{ м}^3/\text{мин}, \text{ что соответствует } \overline{Q}_e = 0,6.$$

Сравнительный анализ формы расходных характеристик эрлифтов, приведенных в [2, 3, 4] и безразмерной характеристики эрлифта показывает, что для анализа экспериментальных данных о работе эрлифта целесообразно принимать следующий интервал значений относительного расхода воздуха $\overline{Q}_e = 0,6-2,4$; так как режимы работы эрлифта, при которых $\overline{Q}_e > 2,4$ не имеют практического применения, а эрлифт работает, как пневмотранспортное средство.

В связи с вышеизложенным для анализа экспериментальных расходных характеристик эрлифтов, приведенных в [3], принят следующий диапазон значений расхода воздуха $Q_e = 8-32$ м³/мин. По зависимости (1) определялся коэффициент производительности эрлифта. При анализе обрабатывалась 140 режимных точек, полученных из экспериментальных данных [3]. Результаты анализа приведены на рис. 3.

Как видно из рис. 3 зависимости коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта от относительного погружения смесителя при фиксированном расходе воздуха близки к параллельным прямым линиям, причем расстояния между этими линиями зависят от отношения $Q_e/Q_{\bar{o.o}}$ и эта зависимость является нелинейной.

На рисунках 4 и 5 приведены: зависимость коэффициента производительности C от отношения $Q_e/Q_{\bar{o.o}}$ при α равном 0,399 и 0,75 и зависимость коэффициента производительности C от α при расходе сжатого воздуха $Q_e = 20$ м³/мин. Значение фиксированного расхода воздуха 20 м³/мин обусловлено достаточно широким распространением в практике откачки шахтных выработок компрессоров объёмного действия фирмы «Baueer» (Германия) имеющих давление 13 бар и производительность 20–23 м³/мин. В настоящее время эти компрессора применяются в ОАО «Государственная холдинговая компания „Спецшахтобурение“» при бурении и последующем осушении шахтных вентиляционных стволов.

Из рис. 4 видно, что зависимость $C = f_1\left(\frac{Q_e}{Q_{\bar{o.o}}}\right)$ близка к экспоненциальной, а из рис. 5

видно, что зависимость $C = f_2(\alpha)$ близка к линейной. В связи с этим для обобщения полученных зависимостей коэффициента производительности C от относительного погружения смесителя α и отношения $Q_e/Q_{\bar{o.o}}$ вводится приведенный коэффициент производительности подъемной трубы эрлифта

$$C_{np} = C - 2,574 \left(1 - e^{-0,5\left(\frac{Q_e}{Q_{\bar{o.o}}} - 1\right)} \right) \quad (3)$$

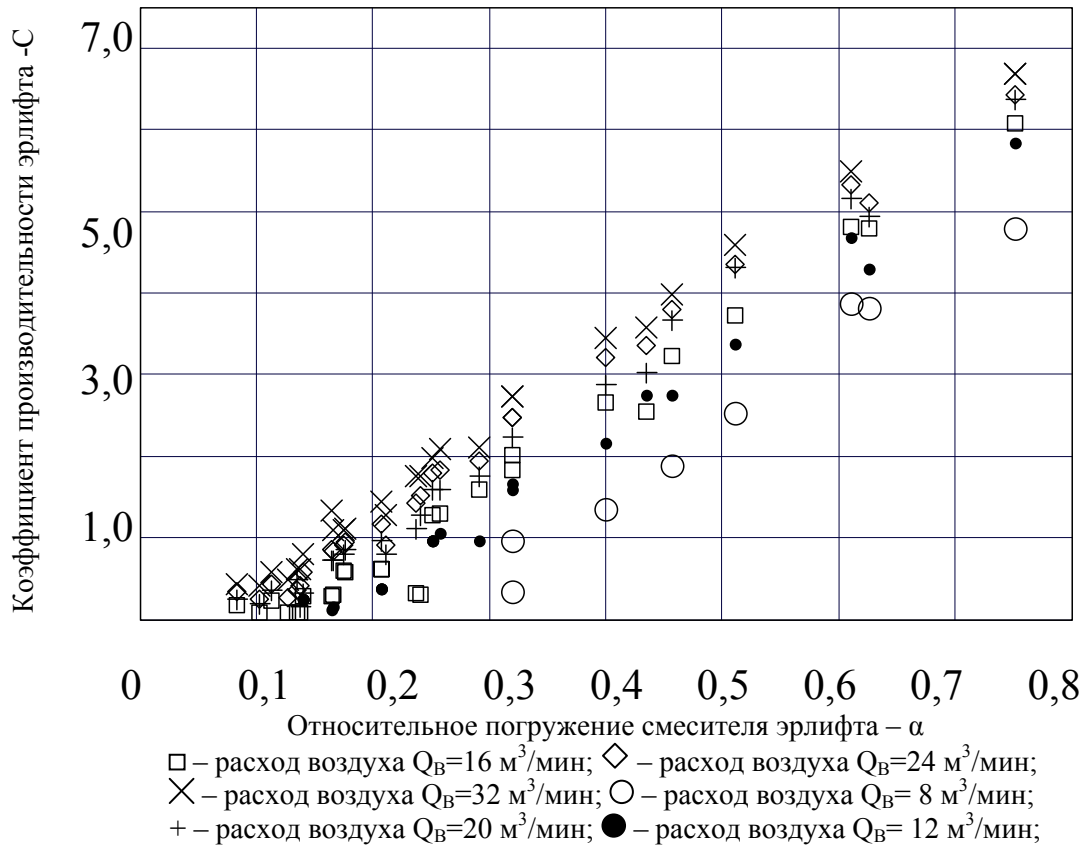


Рис. 3. Зависимость коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта от относительного погружения смесителя

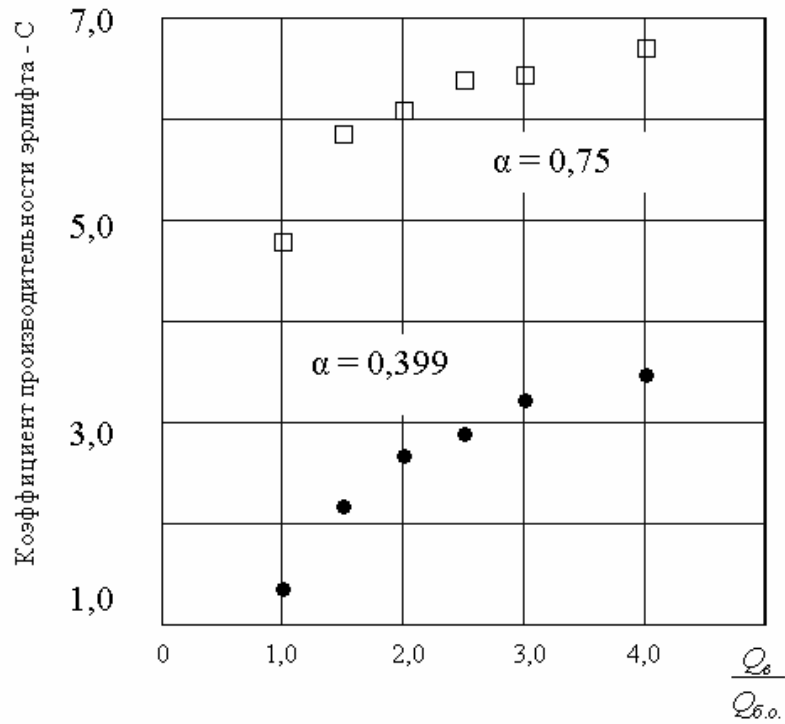


Рис. 4. Зависимость коэффициента производительности эрлифта от отношения расхода сжатого воздуха эрлифтом к минимальному расходу воздуха при барботаже

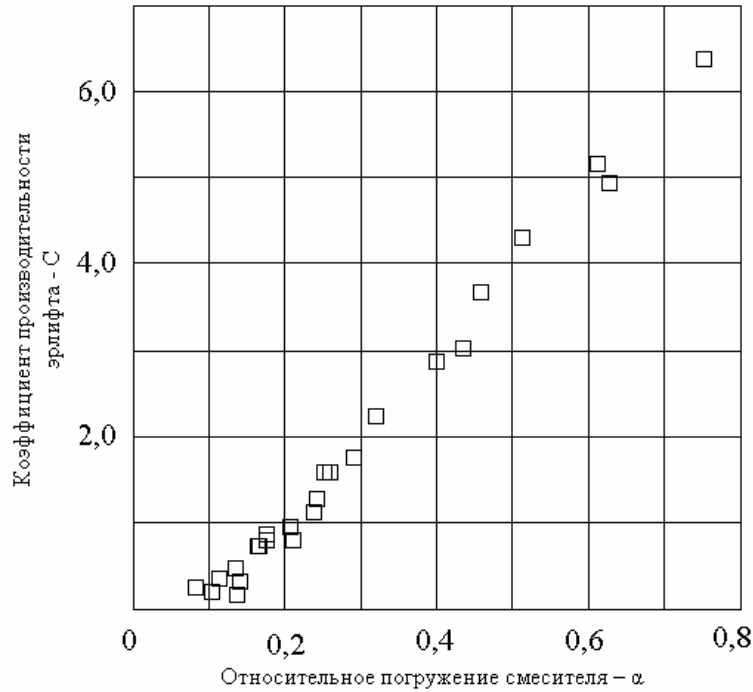


Рис. 5. Зависимость коэффициента производительности эрлифта от относительного погружения смесителя при расходе сжатого воздуха $Q_B = 20 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Полученные по зависимости (3) данные для 140 режимных точек приведены на рис. 6. Как видно из рис. 6 зависимость приведенного коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта от относительного погружения смесителя является линейной.

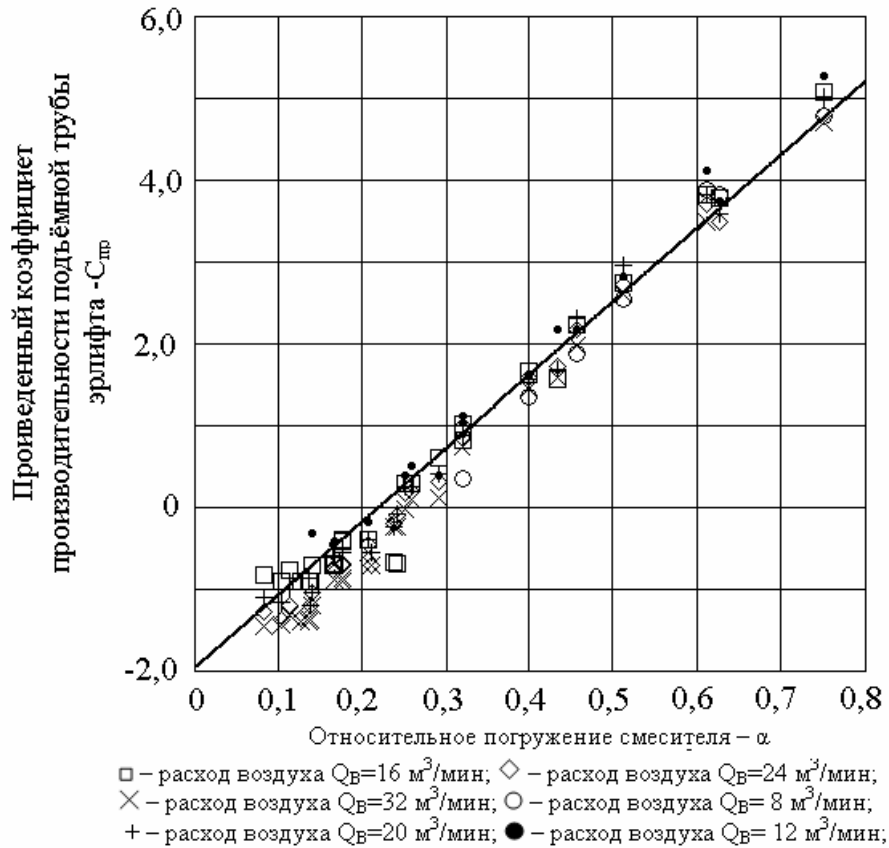


Рис. 6. Зависимость приведенного коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта от относительного погружения смесителя

Уравнение регрессии в этом случае имеет вид

$$C_{np} = -1,96 + 8,96\alpha,$$

а коэффициент корреляции составляет 0,96.

Таким образом, зависимость для определения коэффициента производительности подъемной трубы эрлифта при постоянном расходе воздуха имеет вид

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

Полученная зависимость позволяет анализировать переходные процессы при откачке резервуаров ограниченного объема эрлифтными и насосно-эрлифтными установками.

5. Выводы и направление дальнейших исследований

Установлено, что зависимость коэффициента производительности эрлифта линейно зависит от коэффициента относительного погружения смесителя при фиксированном расходе сжатого воздуха. Полученные результаты позволят в дальнейшем исследовать переходные процессы в эрлифтных и насосно-эрлифтных установках, работающих при фиксированном расходе сжатого воздуха, разработать методики их расчета.

В дальнейших исследованиях следует выяснить также изменение КПД эрлифта при переменном притоке жидкости в резервуары.

Библиографический список

1. Логвинов Н. Г., Стегниенко А. П. Исследование устойчивости систем автоматического регулирования эрлифтных гидроподъемов. – В сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых». Вып.37, – Киев: Техника, 1974, с. 63–68
2. Эрлифтные установки: Учебное пособие / Гейер В. Г., Козыряцкий Л. Н., Пашенко В. С., Антонов Я. К. – Донецк: ДПИ, 1982. – 64 с.
3. Энциклопедия эрлифтов / Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, А. П. Кононенко. – Донецк. 1995. – 592 с. : ил.
4. Гейер В. Г., Логвинов Н. Г. О свойствах безразмерных характеристик эрлифтов – В сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых». Вып. 31, – Киев: Техніка, 1973, с. 51–56.
5. Стегниенко А. П. Зона раціональних режимів роботи ерліфта. Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-електромеханічна». випуск 12(11). – Донецьк, 2006, с. 260–263.

© Малеев В. Б., Игнатов А. В., 2008.