

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ НА ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ФАЗ СМЕСИ В ЭРЛИФТАХ С ПОДЪЕМНОЙ ТРУБОЙ РАЗНОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Малеев В.Б., докт. техн. наук, проф, Малыгин С.С., канд.
техн. наук, доц., Удовенко С.А., ассистент
Донецкий национальный технический университет

Определены затраты мощности на относительное движение фаз смеси в коротких эрлифтах с некруглым сечением подъемной трубы.

The certain expenses to powers on relative moving the phases mixture in short airlifts with not round by section of the lifting pipe.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Эмпирические зависимости для определения подачи коротких эрлифтов в оптимальном режиме, полученные обработкой большого числа экспериментальных данных, дают хорошую сходимость с фактическими параметрами при определенных геометрических погружениях и диаметрах подъемных труб [1]. При отклонениях геометрического погружения и диаметра подъемной трубы проектируемого эрлифта от значений таких величин исследованного, ошибка в определении подачи значительно возрастает. Это в свою очередь ведет к непроизводительным затратам труда и энергии при наладке и эксплуатации эрлифтных установок. Поэтому необходимо уточнить или получить новые зависимости для определения подачи коротких эрлифтов в оптимальном режиме с целью повышения эффективности и надежности их работы. При этом, по-нашему мнению, более точную информацию могут дать формулы, полученные не по статистическим данным, а на основе уравнения баланса мощности в пневматическом подъемнике.

Анализ исследований и публикаций. Известно, что уравнение баланса мощности короткого эрлифта имеет следующий вид:

$$N = N_n + N_c + N_o + N_{nl} + N_{od}, \quad (1)$$

где N_n - полезная мощность, которая затрачивается в эрлифте на подъем $1 \text{ м}^3/\text{с}$ жидкости; N_c и N_o - соответственно, мощность, которая затрачивается на преодоление местных сопротивлений в смесителе и воздухоотделителе; N_{nl} - мощность, затрачиваемая на подъем объема жидкости в пленке, стекающей по внутренней поверхности

подъемной трубы эрлифта по направлению от воздухоотделителя до смесителя, отнесенная к $1 \text{ м}^3/\text{с}$ поднимаемой жидкости; $N_{од}$ - мощность, которая затрачивается на относительное движение фаз, отнесенная к $1 \text{ м}^3/\text{с}$ поднимаемой жидкости.

Следует отметить, что численные значения величин, входящих в уравнение (1), кроме затрат мощности на относительное движение фаз, могут быть определены только для эрлифтов с традиционным – круглым поперечным сечением подъемной трубы [2-5]. Для шахтных же коротких эрлифтов с некруглым поперечным сечением подъемной трубы эти потери не определялись ввиду сложности процесса движения газожидкостной смеси в них.

В связи с тем, что проведены исследования коротких эрлифтов с нетрадиционным сечением подъемной трубы и доказана целесообразность их использования в промышленности [6], возникла необходимость определения энергозатрат на подъем кубического метра гидросмеси. Это можно определить только после количественной оценки вышеприведенных потерь мощности.

Постановка задачи. Необходимо определить зависимость потерь энергии на относительное движение фаз в коротких эрлифтах с различными формами поперечного сечения подъемной трубы от основных параметров подъемников (удельный расход воздуха, геометрическое и относительное погружения) для установления влияния вида подъемной трубы на эффективность их работы.

Изложение материала и результаты. При рассмотрении данного вопроса делаем допущение, что потери мощности на относительное движение жидкой и газообразной фаз в подъемной трубе эрлифта связаны с процессом передачи энергии от энергоносящей среды, которой в эрлифте является сжатый воздух, к энергопотребляющей – потоку жидкости, движущемуся в подъемной трубе эрлифта. Любое преобразование и передача энергии всегда связаны с необратимыми потерями некоторой ее части.

Затраты мощности на относительное движение фаз определим из полученного ранее уравнения баланса мощности (1):

$$N_{од} = N - N_n - N_o - N_c - N_{пл}, \quad (2)$$

По полученной зависимости определяем затраты мощности на относительное движение фаз для ряда эрлифтов, имеющих различные параметры, используя результаты экспериментов, проведенных в ДонНТУ нами и другими авторами.

Примем гипотезу, согласно которой затраты мощности на относительное движение фаз зависят от скоростного напора газожидкостной смеси и какого-то коэффициента относительного движения $K_{од}$, который будем определять на основании экспериментальных данных:

$$N_{од} = K_{од} \cdot \rho_{см} \cdot \frac{V_{см}^2}{2} \quad (3)$$

Так как скорость $V_{см}$ и плотность $\rho_{см}$ газожидкостной смеси изменяются по высоте подъемной трубы, т.е. зависят от координаты рассматриваемого сечения, принимаем их значения для сечения расположенного на высоте $(H+h)/2$, которые определяются по зависимостям:

$$\rho_{см.ср} = \frac{\rho}{1 + q \frac{1}{1 + \frac{\rho g h}{2P_a}}}, \quad (4)$$

$$V_{см.ср} = \frac{Q_э}{F_{тр}} \left(1 + q \frac{1}{1 + \frac{\rho g h}{2P_a}} \right), \quad (5)$$

где $\rho_{см.ср}$ и $V_{см.ср}$ – соответственно плотность и скорость смеси в среднем по высоте подъемной трубы поперечном сечении; q – удельный расход свободного воздуха; ρ – плотность перекачиваемой жидкости; g – ускорение силы тяжести; h – геометрическое погружение эрлифта; P_a – атмосферное давление; $Q_э$ – подача эрлифта; $F_{тр}$ – площадь сечения подъемной трубы эрлифта.

Подставив значения скорости и плотности газожидкостной смеси для среднего по длине подъемной трубы сечения в исходную зависимость (3), получим:

$$N_{од} = K_{од} \cdot \rho \cdot \frac{8 \cdot Q_э^2}{\pi^2 d_э^4} \left(1 + \frac{q}{1 + \frac{\rho g h}{2P_a}} \right) \quad (6)$$

где $d_э = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{mp}}{\pi}}$ - эквивалентный диаметр подъемной трубы короткого эрлифта.

Отсюда выражение для коэффициента относительного движения:

$$K_{од} = 1,234 \cdot \frac{N_{од} \cdot d_э^4}{\rho \cdot Q_э^2 \cdot \left(1 + \frac{q}{1 + \frac{\rho g h}{2P_a}} \right)} \quad (7)$$

Имея экспериментальные данные по потерям на скольжение фаз $N_{од}$ для ряда шахтных эрлифтов легко вычислить значения коэффициента относительного движения $K_{од}$. Допустив, что коэффициент относительного движения $K_{од}$ зависит от геометрической глубины погружения смесителя и его относительного погружения α , обработаем полученные данные для шахтных коротких эрлифтов с круглым поперечным сечением подъемной трубы, представив их в ряде корреляционных полей. Проведенная обработка показала, что наиболее кучно расчетные точки располагаются в системе координат:

$$K_{од.кр} \frac{\alpha^{0,2}}{h^{0,15}} \rightarrow \alpha.$$

После обработки данного корреляционного поля получена зависимость:

$$K_{од.кр} \frac{\alpha^{0,2}}{h^{0,15}} = 21,6 \cdot \alpha^{-1,9} \quad (8)$$

Подставив значение коэффициента $K_{од}$ из выражения (7) и выполнив необходимые преобразования, получим зависимость для определения затрат мощности на относительное движение фаз в подъемной трубе короткого эрлифта:

$$1,234 \cdot \frac{N_{од.кр} \cdot d_э^4}{\rho \cdot Q_э^2 \cdot \left(1 + \frac{q}{1 + \frac{\rho g h}{2P_a}} \right)} \cdot \frac{\alpha^{0,2}}{h^{0,15}} = 21,6 \cdot \alpha^{-1,9} \quad (9)$$

Откуда

$$N_{од.кр} = 17,5 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{2,1}} \cdot \left(1 + \frac{q}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (10)$$

Аналогично были получены зависимости для определения затрат энергии на относительное движение в коротком эрлифте с некруглым сечением подъемной трубы:

для подъемной трубы с квадратным сечением:

$$N_{од.кв} = 17 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{1,4}} \cdot \left(1 + \frac{q_{кв}}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (11)$$

для подъемной трубы треугольным сечением:

$$N_{од.тр} = 23 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{1,45}} \cdot \left(1 + \frac{q_{тр}}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (12)$$

для подъемной трубы прямоугольным сечением:

$$N_{од.пр} = 15 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{1,6}} \cdot \left(1 + \frac{q_{пр}}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (13)$$

для подъемной трубы с полукруглым сечением:

$$N_{од.пк} = 22 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{1,55}} \cdot \left(1 + \frac{q_{кв}}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (14)$$

для подъемной трубы, сечение которой представлено двумя треугольными трубами:

$$N_{од.2тр} = 150 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{0,45}} \cdot \left(1 + \frac{q_{2тр}}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (15)$$

для подъемной трубы, сечение которой представлено двумя прямоугольными трубами:

$$N_{од.2np} = 84 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{0,9}} \cdot \left(1 + \frac{q_{2np}}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (16)$$

для подъемной трубы, сечение которой представлено двумя полукруглыми трубами:

$$N_{од.2нк} = 54 \cdot \rho \cdot Q_3^2 \cdot \frac{h^{0,15}}{d_3^4 \alpha^{1,35}} \cdot \left(1 + \frac{q_{2нк}}{1 + \frac{\rho gh}{2P_a}} \right) \quad (17)$$

Для коротких эрлифтов с подъемной трубой длиной 5,22 м и различной конфигурации ее поперечного сечения, но с одинаковым эквивалентным диаметром $d_3=174$ мм и при относительном погружении $\alpha=(0,2...0,4)$ построены кривые потерь мощности на относительное движение фаз (рис. 1). Из анализа полученных графиков следует, что наименьшие затраты мощности на относительное движение фаз (в (1,4...2,2) раза меньше, чем при использовании подъемной трубы с круглой формой поперечного сечения) присущи эрлифтам с квадратной формой поперечного сечения. Применение подъемной трубы с треугольной, прямоугольной и полукруглой формой поперечного сечения также позволяет снизить затраты мощности на относительное движение фаз, но в меньшей мере (в (1,05...1,8) раз соответственно при уменьшении величины относительного погружения). Применение труб с другой формой поперечного сечения не дает значительно снижения затрат мощности на относительное движение фаз, а в отдельных случаях даже превышает эти затраты при применении трубы с круглой формой поперечного сечения.

Подставляя в уравнение (1) зависимости для определения затрат мощности на относительное движение фаз (10-17), с учетом уже известных зависимостей для определения остальных составляющих затрат мощности, получим уравнения баланса мощности коротких эрлифтов с соответствующей формой поперечного сечения подъемной трубы.

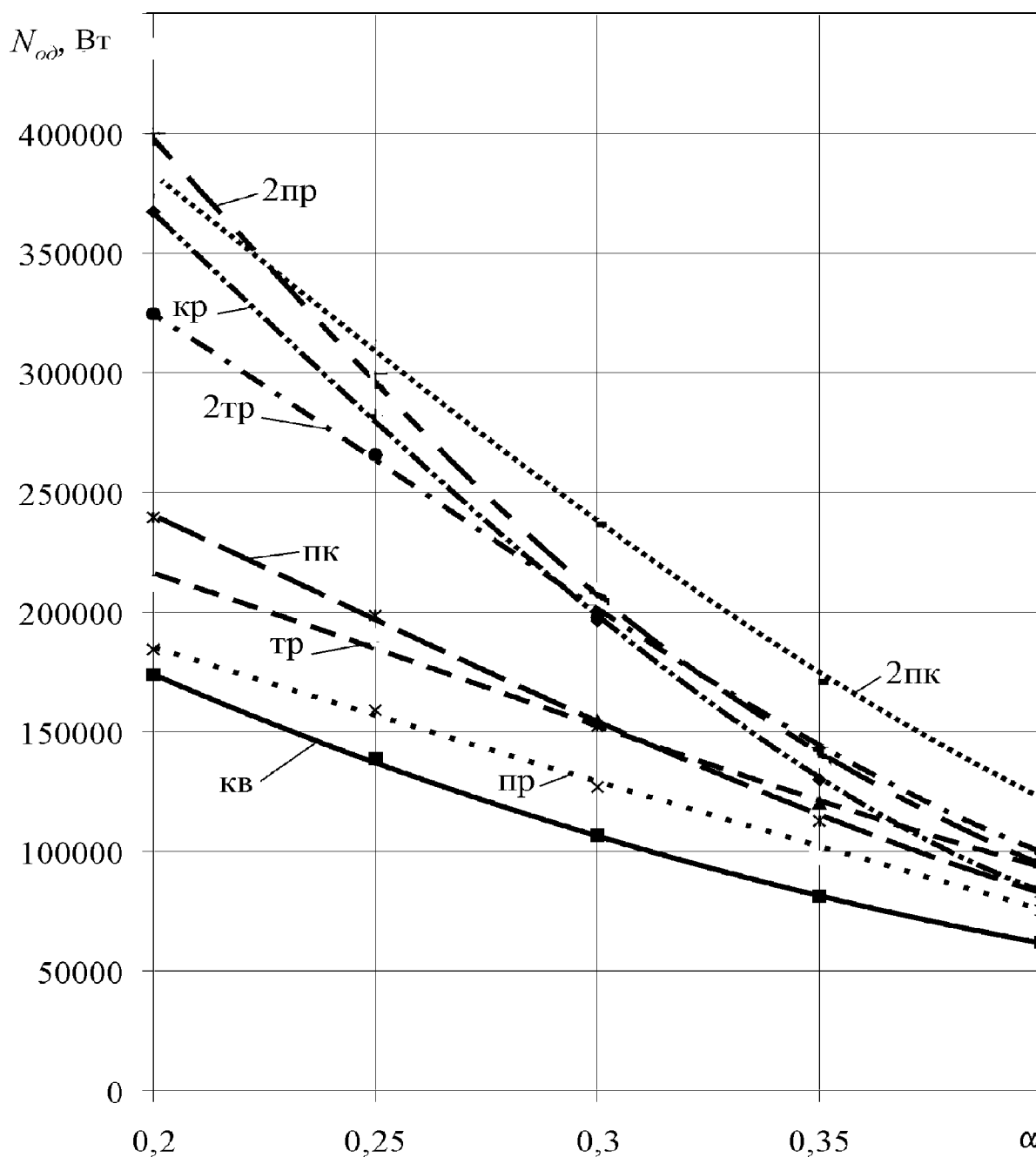


Рисунок 1 – Изменение затрат энергии на относительное движение фаз смеси при различной форме поперечного сечения подъемной трубы эрлифта:

кв – квадратной; кр – круглой; тр – треугольной; пк – полукруглой; пр – прямоугольной; 2тр – состоящей из двух треугольных; 2пр – состоящей из двух прямоугольных; 2пк – состоящей из двух полукруглых.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Таким образом, нами получено уравнение баланса мощности для шахтных коротких эрлифтов с подъемной трубой круглого и ряда некруглых сечений, в основу которых положены не только статистические данные, но и сущность процесса, что расширяет область его использования.

2. При эксплуатации коротких эрлифтных установок в качестве подъемной трубы рекомендуется использовать трубы с квадратным сечением, так как их применение будет наиболее рациональным, в связи с тем что при их использовании будут наблюдаться наименьшие потери мощности (энергии). Это, в свою очередь, связано с тем, что в подъемной трубе с квадратным поперечным сечением происходит более интенсивное, по сравнению с трубами, имеющими другую форму поперечного сечения, перемешивание газообразной и жидкой фаз, а, следовательно, эрлифтная установка с такой формой поперечного сечения подъемной трубы будет работать с более высоким КПД.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование конструкций смесителя и воздухоотделителя эрлифтных установок с подъемной трубой квадратного сечения.

Список источников:

1. Малыгин С.С., Сорокин Л.Н. Определение удельного расхода и подачи коротких эрлифтов // Разработка месторождений полезных ископаемых. - К.: Техніка, 1983. - Вып.64.-С.83 - 87.
2. Гейер В. Г., Шевченко В. Ф. Влияние конструкции смесителя на КПД эрлифта. - М.: ЦНИЭИУголь, 1974.-38с.
3. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. -М.: Энергия, 1976.-295с
4. Малыгин С.С. Расчет гидротранспортных эрлифтов малой длины // Разработка месторождений полезных ископаемых. - К.: Техніка, 1970.- Вып.20.- С.130 – 136.
5. Миргородский В. Г. Исследование и разработка выходного узла эрлифтной гидроподъемной установки: Дис... канд. техн. наук 05.05.06./ ДПИ- Донецк,-1970.-276 с.
6. Малеев В.Б., Удовенко С.А. Влияние формы поперечного сечения подъемной трубы короткого эрлифта на величину его подачи // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КТУ. - 2005. - Вип. №8. - С.88-92.