

УДК 622.234.5.621.643

## МИНИМИЗИЦИЯ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА ТРАНСПОРТ ГИДРОСМЕСИ ВЕРТИКАЛЬНЫМ МОРСКИМ ЭРЛИФТОМ

Логвинова Е. Н., инж.

Донецкий государственный технический университет

*В статье освещены факторы, определяющие оптимальную глубину погружения морского эрлифта при условии минимального удельного расхода энергии.*

*In this article factors, which determine optimum depth of plunge of sea airlift, provided that specific expenditure of energy is minimal, are illuminated.*

Находящиеся в промышленной эксплуатации эрлифты отличаются относительно малой длиной приемных трубопроводов, которая составляет 0,03 - 0,05 общей длины транспортного трубопровода эрлифтов (от исходного до выходного сечения).

Расходные характеристики промышленных эрлифтов являются функциями глубины погружения и расхода сжатого воздуха и имеют плавающий характер. Производительность конкретного эрлифта при данных геометрических параметрах зависит от глубины погружения. Чем большая часть длины подъемной трубы погружена под уровень жидкости в приемной емкости, тем больше производительность эрлифта при неизменном расходе сжатого воздуха. Эти эрлифты обладают свойством самовыравнивания: если уровень жидкости или гидросмеси в приемной жидкости поднимается, то подача эрлифта при данном расходе воздуха увеличивается, при снижении уровня - уменьшается. Другими словами, эрлифты обладают в известных пределах свойством саморегулирования.

Ограниченные запасы некоторых полезных ископаемых ставят перед рядом отраслей комплекс проблем, связанных с добычей этих ископаемых со дна морей и океанов.

Статья посвящена разработке и усовершенствованию глубоководных эрлифтных гидроподъемов и, в частности, решению задач энергетической оптимизации на стадии проектирования и эксплуатации этих гидроподъемов. По конструктивным особенностям и условиям эксплуатации глубоководные морские эрлифтные гидроподъё-

мы отличаются от обычных эрлифтов неизменным положением уровня жидкости в водоёме, малой высотой подъёма над уровнем водоёма, большой длиной подающего (досмесительного) трубопровода и другими отличиями. Например, свойство самовыравнивания производительности эрлифта с коротким хвостовым трубопроводом нельзя переносить на глубоководный морской эрлифт с длинным подающимся трубопроводом. Повышение уровня в приёмной емкости в первом случае приводит к увеличению глубины погружения смесителя эрлифта, к уменьшению высоты подъёма и соответствующему увеличению производительности эрлифта (при неизменном расходе воздуха, подводимого к смесителю).

Во втором случае глубина погружения основного смесителя может быть определена в процессе проектирования эрлифтного гидроподъёма. Допустим, что при смещении смесителя вниз его глубина растёт. Однако, при этом длина подающего (хвостового) трубопровода уменьшается. Свойство самовыравнивания проявляется совершенно по иному: по мере перемещения смесителя вниз по подъёмной трубе расходная характеристика подъёмной трубы поднимается вверх. Но наступает момент, при котором последующий шаг подъёма расходной характеристики уменьшается и становится непропорциональным шагом опускания смесителя. Затем при дальнейшем перемещении смесителя расходная характеристика подъёмной трубы останавливается. При дальнейшем опускании смесителя расходная характеристика подъёмной трубы начинает также опускаться вниз. Эта тенденция к снижению расходной характеристики подъёмной трубы будет сохраняться вплоть до перемещения смесителя на глубину входного сечения.

В случае морского эрлифтного гидроподъёма положение уровня жидкости в бассейне остаётся неизменным и при изменении координаты установки смесителя происходит соответствующее изменение длины подъёмного и подводящего трубопроводов: при опускании смесителя увеличивается длина подъёмной трубы и уменьшается длина подводящей и наоборот. Можно утверждать, что на подъёмном трубопроводном тракте имеется координата, установка смесителя на которой является экономически самой выгодной с точки зрения минимума расхода энергоносителя на единицу массы поднимаемой среды.

Разработка теоретических основ определения координаты подвода сжатого воздуха в вертикальный трубопровод из условий мини-

мизации расхода энергии на транспорт жидкости или гидросмеси должна базироваться на ряде ограничений и условий: минимальная скорость движения несущей среды (жидкости) должна иметь определенный запас устойчивости движения и превышать скорость витания в 1,2 - 1,3 раза. При равных длинах и равных диаметрах КПД приёмного трубопровода всегда выше КПД подъёмной трубы.

Однако главная особенность эрлифтного гидроподъёма состоит в том, что движущаяся в приёмном и подъёмном трубопроводах среда одновременно перемещается в потенциальном силовом поле Земли. Влияние этого поля особенно существенно для морских эрлифтов. Именно этому обстоятельству необходимо подчинить основную направленность расчёта и проектирования гидроподъёма.

Подъёмный трубопроводный став эрлифта и море являются сообщающимися сосудами, один из которых имеет практически неограниченную поверхность зеркала воды, другой - ограниченную водную поверхность, равную сечению трубопровода. Расчётный перепад над уровнем моря условно принимаем равным двадцати метрам. Необходимый перепад давления или напора или необходимый гидравлический уклон, который обеспечит морской воде заданную транспортную скорость добываемого полезного ископаемого данной плотности и крупности в подъёмном трубопроводе, можно осуществить различными способами. Например, применяя на конечном участке подъёмного трубопровода эрлифт. При этом максимально возможная часть высоты подъёма гидросмеси из придонного слоя преодолевается за счёт потенциальной энергии давления, которой обладает сплошная среда в придонном слое.

Оставшаяся, существенно меньшая часть высоты подъёма и переподъёма над уровнем поверхности моря, преодолевается эрлифтным гидроподъёмом. Глубина погружения эрлифта отсчитывается от горизонтальной плоскости, на которую поднимает гидросмесь энергия потенциального силового поля с придонного слоя и совершит работу по преодолению сил сопротивления движению гидросмеси.

Выбор оптимальных значений расчётных параметров эрлифтного гидроподъёма и режимов работы осуществляется для стационарных условий работы гидроподъёмной установки.

Основным вопросом оптимизации на стадии проектирования является определение координаты установки смесителя (области подвода пневматической энергии) эрлифта. Предлагается выполнить эту часть расчёта на основании уравнения Д. Бернулли для стационарно-

го потока реальной жидкости в вертикальном трубопроводе, а потери напора по длине определяются при этом по формуле Дарси-Вейсбаха. Учитывая плотность поднимаемого эрлифтом полезного ископаемого и заданную суточную производительность гидроподъёма по твёрдому, определяются критическая скорость и диаметр подводящего (хвостового) трубопровода. Расчётная скорость принимается, по возможности, с учётом влияния периодических процессов на характер движения частиц твёрдого материала. Как известно, наиболее выгодными с энергетической точки зрения являются оптимальные режимы движения газожидкостной среды в подъёмном трубопроводе, которые имеют снарядную структуру.

Координату размещения смесителя на подъёмной трубе эрлифта определим графоаналитическим способом путём предварительного построения диаграммы управления Д. Бернулли (3). В качестве примера выполним расчёт и построение диаграммы (рис.1) для установки, поднимающей гидросмесь с глубины моря 5 000 м при расчётной скорости жидкой фазы в хвостовом трубопроводе, равной 5 м/с. Плоскость сравнения - горизонтальная, располагается на морском дне. Там же размещается начало координат (оси X и Y горизонтальны, ось Z - вертикальна, совпадает с геометрической осью подъёмного тракта). Линия OO' параллельна оси Z и лежит в вертикальной плоскости отчёта. На упомянутом рисунке E-E - напорная линия, 2 P-P - пьезометрическая линия (отстоит от напорной линии на расстоянии  $L \cdot V/2g$ ).

Линия OO<sub>1</sub> и линия E-E определяют потери напора по длине подъёмного става. Координаты 5 000 м по осям Y и Z соединяем отрезком DE прямой, которая составляет с осью Z угол 45°. Точка M пересечения линии OO<sub>1</sub> с линией DE определяет искомую координату уровня транспортируемой среды в подъёмном тракте при потенциальном движении гидросмеси со скоростью  $V=5$  м/с. С увеличением скорости прямая OO<sub>1</sub> становится более полой. Потери напора по длине 5 000 м определены по формуле Дарси-Вейсбаха и составляют при  $D=0,2$  м и  $\lambda=0,0225$ :  $h_{f 5 000} = 717$  м.

Из подобия треугольников OEO<sub>1</sub> и ONM находим MN и OK, которые соответственно равны 627 м и 4 373 м. Другими словами, потери напора по длине трубопровода ON составят 627 м, а динамический уровень жидкости в подъёмной трубе эрлифта при потенциальном течении со скоростью 5 м/с составит 4 373 м. Остающаяся высота подъёма гидросмеси от этого уровня преодолевается эрлифтом.

