УДК 622.648.8

И.А.ЧИЛИКИН
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова (технический университет)

СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПО МОЩНОСТИ ГИДРОПОДЪЕМА ГОРНОЙ МАССЫ ЭРЛИФТНЫМ И НАСОСНЫМ СПОСОБАМИ

Подъем твердого материала при подводной добыче полезных ископаемых с морского дна на водную поверхность наиболее эффективен гидравлическим способом по вертикальному трубопроводу. При этом возможен способ с использованием эрлифтной установки или насосного агрегата. Приводятся обобщенные энергетические характеристики эрлифтного и насосного способов гидравлического подъема полезного ископаемого для выбора рациональной и экономически эффективной системы гидравлического транспорта. Приведены расчетные зависимости по определению удельных потерь энергии при подъеме горной массы с поверхности морского дна при глубине разработки 100 м. Данные системы гидроподъема можно рассматривать как модульные и при увеличении глубины разработки до 1000 м. Общее количество ступеней гидроподъема будет кратным глубине модульной ступени. Полученные в данной работе энергетические характеристики эрлифтной установки по КПД уступают насосному способу гидроподъема.

Solid material lifting during submarine mining of commercial deposits from seabed to water surface is the most effective with using of hydraulic method along vertical pipeline. In this case it is method with using of airlift installations or pumping aggregation is possible. The common energy characteristics of airlift and pumping methods lifting the both methods of hydraulic raise of commercial deposit for choosing rational and the economically efficient system of hydraulic transport are presented in this article. The calculate results for defining energy unit losses of lifting mining mass from seabed of 100 deep are presented too. The systems of hydraulic lifting can be considered as modulus and increasing the deep of an exploiting until 1000 m. the common quantity of hydraulic lifting steps will multiple module step depth. The total of my work is that obtained energy characteristics of airlifting equipment by size KPW are less then pumping aggregation.

Способы гидроподъема. При подводной добыче полезных ископаемых, как коренных, так и россыпных, значительными преимуществами обладает гидравлический способ вертикального подъема горной массы от подводного забоя на поверхность. Из способов гидроподъема горной массы заслуживают внимания:

- эрлифтный, основанный на использовании энергии сжатого воздуха, когда твердая масса в виде дискретных частиц движется вертикально в потоке трехфазной системы: воздух, твердые частицы, жидкость;
- насосный с применением погружного насоса, установленного на уровне разработки полезного ископаемого, т.е. на дне морской акватории; в этом случае твердые частицы движутся в вертикальном трубопроводе под действием суммарного давления, создаваемого гидростатическим напором и напором, развиваемым погружным (как правило, центробежным) насосом.

Схема гидроподъема зависит от глубины разработки. При сравнительно небольшой глубине можно применять одноступенчатые схемы. С увеличением глубины разработки следует использовать многоступенчатые схемы подъема. В этом случае одноступенчатая схема может рассматриваться как модуль. Количество модулей для многоступенчатой системы подъема будет определяться общей глубиной разработки под-

Санкт-Петербург. 2003

водного месторождения. При этом обычно рассматривают пять основных вариантов систем: 1) с расположением рабочего насоса на дне акватории; 2) с расположением рабочего насоса на платформе; 3) с подводной капсулой; 4) типа эрлифт; 5) типа эжектор.

Наиболее применимы системы с расположением насосной установки на плавучей платформе, а также системы типа эрлифт и эжектор. Системы с расположением насоса на морском дне требуют специальных высоконадежных насосов, приспособленных для работы под избыточным давлением, обусловленным глубиной разработки. В системы с подводной капсулой специальный насос предназначен для поддержания внутри капсулы атмосферного давления. Под действием разности давлений моря и атмосферы внутри капсулы происходит подъем горной массы по вертикальному подводному трубопроводу. Экспериментальные разработки различных проектов показывают, что по энергии, затрачиваемой на транспортирование твердого материала, наиболее экономичны системы с подводной капсулой и системы с расположением насоса на дне моря.

Эрлифтный подъем. Эрлифт представляет собой погруженную в воду трубу с открытыми концами, в которую подается сжатый воздух. Воздух, вводимый в виде пузырьков, образует смесь, удельный вес $\gamma_{см}$ которой меньше удельного веса воды γ_0, в результате чего смесь поднимается вверх и выливается из трубы (рис.1):

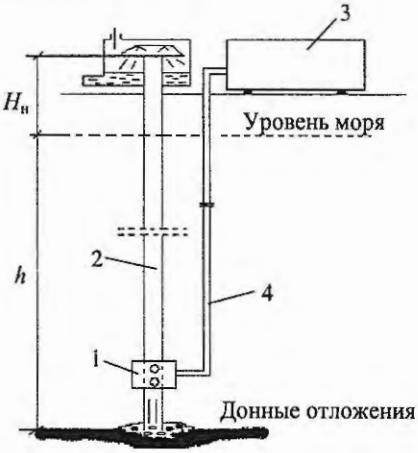


Рис.1. Расчетная схема эрлифтного подъема
1 – смеситель, 2 – всасывающий трубопровод, 3 – компрессор, 4 – воздуховод

$$\gamma_{см} < \gamma_0. \qquad (1)$$

Давление столба воздушно-гидравлической смеси у устья подъемной трубы эрлифта в случае равновесия равно гидростатическому давлению окружающей воды:

$$P_0 + (H_m + h)\gamma_{см} = P_0 + h\gamma_0,$$

где P_0 – атмосферное давление, кг/м^2; h – глубина погружения форсунки эрлифта, м; H_m – максимальная высота подъема гидросмеси над уровнем моря, м.

Таким образом, максимальная высота над уровнем моря может быть выражена разностью высот столбов сообщающихся сосудов и теоретически в идеальном случае определяется выражением

$$H_m = h\left(\frac{\gamma_0}{\gamma_{см}} - 1\right).$$

Согласно выражению (1), давление столба воздушно-гидравлической смеси у устья подъемной трубы эрлифта меньше, чем гидравлическое давление окружающей воды, т.е. выполняется условие течения в сообщающихся сосудах и обеспечивается свободное вытекание воздушно-гидравлической смеси из подъемной трубы эрлифта со скоростью

$$V = \sqrt{2g(H_m - H)},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2; H – фактическая высота подъема гидросмеси над уровнем моря, м.

Поскольку в данном случае эрлифт подает пульпу на некоторую высоту, полезная мощность, развиваемая им,

$$N_п = \gamma_0 Q g H_m,$$

где Q – расход пульпы, м^3/с.

В трубе эрлифта в процессе подъема жидкости расходуется мощность, затраченная в компрессорной установке:

$$N_к = P_1 q \ln\left(\frac{P_к}{P_1}\right)\frac{1}{\eta_{из}\eta_м},$$

где P_1 – давление воздуха на входе в компрессор; $P_к$ – давление, создаваемое компрессором и подаваемое к эрлифту

$P_к = P_2 + \Delta P_1$; P_2 – давление воздуха, подводимого в напорную камеру; q – расход воздуха эрлифтом; $\eta_{из}$ и $\eta_м$ – изотермический и механический КПД компрессора соответственно.

Следовательно, общий КПД эрлифта определяется, прежде всего, глубиной погружения:

$$\eta_э = \frac{\gamma_0 Q H_m}{P_1 q \ln P_к / P_1} \eta_{из}\eta_м .$$

В среднем для данного случая он будет превышать 0,5, так как коэффициент относительного погружения составляет около 0,95.

Мощность, потребляемая эрлифтом,

$$N = \frac{N_к}{\eta_{дв}\eta_{пер}},$$

где $\eta_{дв}$ и $\eta_{пер}$ – КПД соответственно двигателя и передачи.

Полный КПД эрлифтной установки

$$\eta = \frac{N_п}{N_{эл}} = \frac{\gamma_0 Q H}{P_1 q \ln P_к / P_1} \eta_{из}\eta_м\eta_{дв}\eta_{пер}. \quad (2)$$

Как показывают расчеты по уравнению (2), полный КПД эрлифтной установки при глубине подводного забоя 100 м и производительности добычной системы по горной массе 100 т/ч составляет 0,18-0,2 [2].

Подъем погружным насосом. В гидроподъемной установке с погружным центробежным насосом (рис.2) всасывание происходит через всасывающий трубопровод 3, далее по напорному трубопроводу 4 пульпа попадает в резервуар 5. Для подъема гидросмеси на высоту h необходимо соблюдение условия

$$H_г < H_н,$$

где $H_г$ – геометрический напор; $H_н$ – напор, создаваемый насосом.

Полный напор насоса складывается из статической $H_{ст}$ и динамической $H_д$ составляющих:

$$H_н = H_{ст} + H_д.$$

Необходимый напор зависит от удельных гидравлических потерь и глубины разработки. Потери на трение при движении гидросмеси по вертикальной трубе можно принять равными потерям напора при движении чистой жидкости по гладким трубам, так как при наблюдениях за движением твердых частиц в вертикальных стеклянных трубах видно, что твердые частицы редко касаются стенок трубопровода.

Между потоком, насыщенным твердыми частицами, и стенками существует жидкостной слой, который и определяет удельные потери напора. Отметим, однако, что такая оценка потерь напора является приближенной, так как не учитывает турбулентные флуктуации твердых частиц по сечению трубы [3].

На основании экспериментальных данных по гидравлическому транспортированию по вертикальным трубам установлено, что для расчета можно использовать следующую формулу:

$$i_в = i_w\left(1 + 145 s \frac{gD}{v^2}\frac{W_o}{\sqrt{gD}}\right),$$

где i_w – потери напора при движении чистой жидкости; s – относительная плотность гидросмеси; W_o – гидравлическая крупность твердых частиц, м/с; D – диаметр трубопровода [1].

Потери напора при движении чистой воды рассчитываются по формуле Дарси –

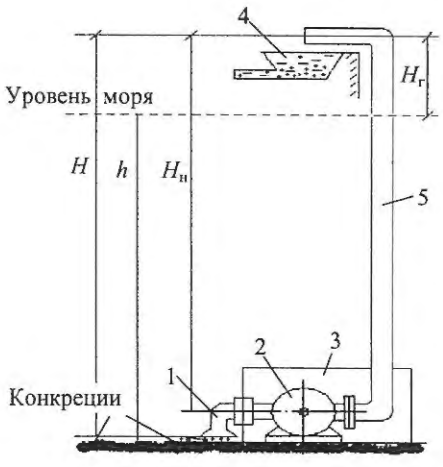


Рис.2. Схема погружной насосной установки
1 – всасывающий патрубок; 2 – насосный агрегат; 3 – изолированный корпус; 4 – подъемный трубопровод; 5 – приемный зумпф

Вейсбаха, в которой коэффициент гидравлических сопротивлений λ принимается по формулам для гладких труб.

Требуемый напор, создаваемый насосом для поднятия жидкости по трубопроводу,

$$H = H_{ст} - i_в L + \frac{V^2}{g\overline{D}_{тр}},$$

где $H_{ст}$ – статический напор, равный глубине разработки L, м.

Требуемая мощность насоса

$$N = \frac{q_h P}{1000\eta} k_з,$$

где P – давление, требуемое для подъема пульпы, Па, $P = H \cdot 10^4$; $k_з$ – коэффициент запаса насоса, $k_з = 1{,}15$.

Предварительные расчеты показывают, что мощность, затрачиваемая эрлифтной установкой на 100 м подъема при производительности 100 т/ч, составляет 200 кВт. Мощность, затрачиваемая насосным агрегатом, при тех же условиях составляет 90 кВт.

Для уточнения результатов предварительных расчетов необходимо провести соответствующие эксперименты в лабораторных и промышленных условиях для получения фактических данных по энергоемкости вариантов подъема.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александров В.И.* Гидравлический транспорт минерального сырья на горных предприятиях: Конспект лекций / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2000.

2. *Юфин А.П.* Гидромеханизация. М.: Стройиздат, 1965.

3. *Palarski J.* Hydrotrasport. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa, 1982.

Научный руководитель д.т.н. проф. *В.И.Александров*