

К ВЫБОРУ НАГНЕТАТЕЛЯ ГЛУБОКОВОДНОГО ЭРЛИФТА

Стегниенко А.П., канд. тех. наук, доц. ,

Донецкий государственный технический университет

Определено влияние гравитационных сил на распределение давлений в воздухопроводе глубоководного эрлифта.

Influencing gravitation forces on distribution of pressures in an air line of an abyssal air-lift is defined.

Используемые в практике различных отраслей промышленности эрлифтные установки отличаются большим разнообразием как по конструктивным, так и эксплуатационным параметрам. Вместе с тем, случаи практического применения эрлифтов большой протяженности пока весьма редки, хотя со временем все актуальнее становится решение проблемы добычи и транспортировки полезных ископаемых со дна морей и океанов. Известные эрлифты для подъема угольной пульпы с глубин 400 м и 800 м отличаются относительно низким погружением, а следовательно, и небольшим на фоне всего объема воздухопровода объемом вытесняемой во время пуска среды (8-15%). Данные установки характеризуются малой продолжительностью переходного процесса, связанного с вытеснением среды из воздухопровода, и поэтому не могут служить аналогом глубоководных эрлифтов. Существенной особенностью последних является высокое относительное погружение, что определяет практическое равенство объема вытесняемой среды и объема воздухопровода эрлифта. В этом случае упомянутый переходный процесс отличается как в качественном, так и в количественном отношении.

Применительно к глубоководному эрлифту задача о вытеснении жидкости из питающего воздухопровода решалась в работе (1), в которой определена продолжительность этого процесса.

Расчетная модель представляет собой замкнутый объем трубопровода постоянного сечения и конечной длины, содержащий поршень ничтожной массы, который может перемещаться вдоль воздухопровода без трения и деформировать невесомую пружину, помещенную между поршнем и конечным сечением трубопровода. В свободном состоянии длина пружины равна длине трубопровода. Процесс наполнения трубопровода принят изотермическим. Силы проти-

водавления вытесняемого из воздухопровода объема жидкости адекватны реакции пружины на перемещение поршня. В результате получена расчетная зависимость

$$P = \sqrt{\frac{\rho_1 g}{S} RT(M_0 + mt)}, \quad (1)$$

где ρ_1 – плотность жидкости в воздухопроводе, кг/м^3 ;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

S – сечение воздухопровода, м^2 ;

R – газовая постоянная, Дж/кг град;

T – абсолютная температура сжатого воздуха, $^\circ\text{К}$;

M_0 – начальная масса воздуха, кг;

m – массовая производительность нагнетателя в рабочем режиме, кг/с ;

t – время, с.

Недостаток рассмотренной расчетной модели состоит в том, что соответствующий ей переходный процесс вытеснения жидкости не зависит от пространственной ориентации воздухопровода. Между тем, при вертикальном расположении достаточно протяженного воздухопровода, что имеет место в случае глубоководного эрлифта, давление и плотность сжатого воздуха в направлении его движения не останутся неизменными. Причем, чем больше вертикальная длина воздухопровода, тем большее влияние на характер распределения давления и плотности по длине будут оказывать силы тяжести столба самого сжатого воздуха. Качественная и количественная оценка этого влияния приведена ниже.

Рассмотрим распределение давлений по длине вертикального воздухопровода для случая, когда столб сжатого воздуха при данном давлении P_0 в начальном сечении находится в покое. В этом случае давление P в любом сечении будет представлять собой монотонную функцию текущей координаты x , отсчитываемой от начального сечения вниз. Выделим произвольный элемент воздухопровода длины dx . Считая давление во всех точках выделенного элемента одинаковым и равным P , определим приращение dP давления от веса столба сжатого воздуха плотностью $\rho = P/RT$ и высотой dx из соотношения:

$$dP = \rho g dx = \frac{P}{RT} g dx.$$

После интегрирования имеем:

$$\ln \left| \frac{P}{P_H} \right| = \frac{g}{RT} x \quad \text{или} \quad P = P_H \cdot e^{\frac{g}{RT} x} \quad (2)$$

При изотермическом процессе наполнения воздухопровода аналогичное соотношение можно получить и для определения плотности воздуха в любом сечении воздухопровода:

$$\rho = \rho_H \cdot e^{\frac{g}{RT} x} \quad (3)$$

На (рис. 1) приведены зависимости $P=P(x)$ и $\rho=\rho(x)$, которые определены с использованием метода разбиения воздухопровода на конечное число участков одинаковой длины.

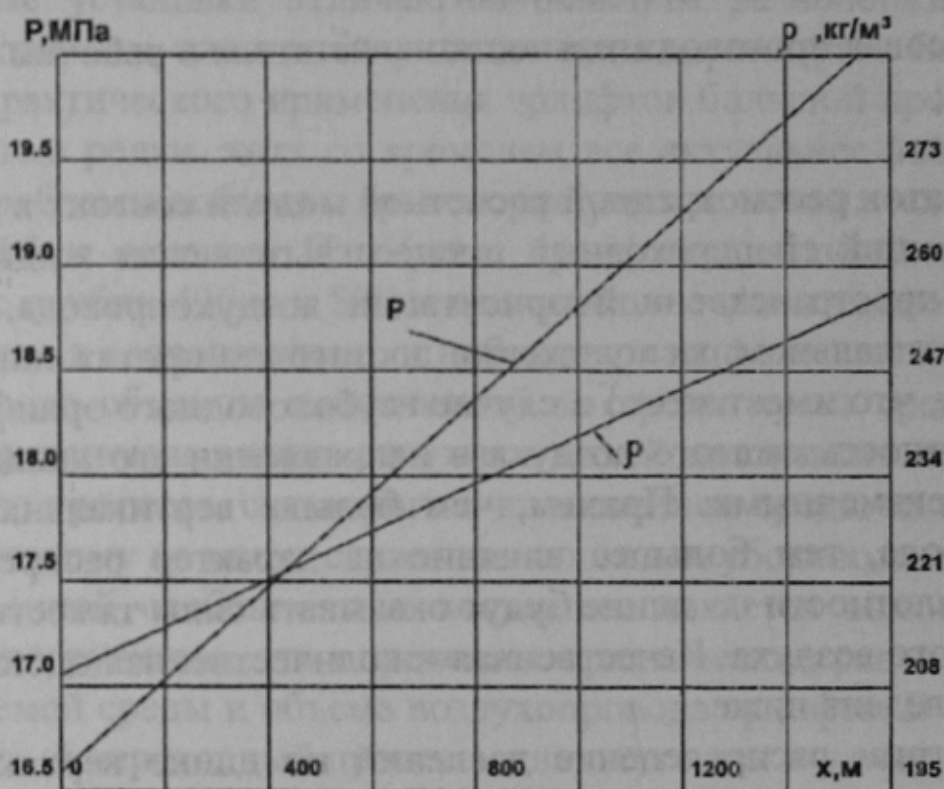


Рисунок 1 – Зависимость давления P и плотности ρ сжатого воздуха в функции координаты x сечения воздухопровода

При этом в качестве исходных данных приняты следующие параметры глубоководного эрлифта: объемная производительность компрессора $188 \text{ м}^3/\text{мин.}$, массовая производительность 3.6 кг/с , длина питающего воздухопровода 1765 м , объем воздухопровода 5.85 м^3 , температура процесса 293° К . Апробация соотношений (2) и (3) на этих исходных данных позволяет сделать вывод о том, что упомяну-

тые соотношения с достаточной степенью точности аппроксимируют приведенные на рис. 1 зависимости.

Давление сжатого воздуха, определяемое формулой (1), фактически соответствует давлению P_n в формуле (2), то есть конечному давлению компрессора на стороне нагнетания. Поэтому, разлагая функцию $e^{gx/RT}$ в ряд Маклорена и ограничиваясь первыми тремя членами разложения, можно окончательно сформировать зависимость давления сжатого воздуха как функции времени и координаты в следующем виде:

$$P = \left[1 + \frac{g}{RT} \left(x + \frac{gx^2}{2RT} \right) \right] \sqrt{\frac{\rho_1 g}{S} RT (M_0 + mt)} .$$

Анализ и оценка этой зависимости показывает, что с учетом сил тяжести сжатого воздуха продолжительность процесса освобождения питающего воздухопровода от жидкой среды сокращается. При этом динамическим напором и потерями давления на преодоление сопротивления можно пренебречь, так как они существенно изменить характер и продолжительность этого процесса не могут.

Уточненные характеристики распределения давления в питающем воздухопроводе глубоководного эрлифта позволяют также осуществлять на стадии проектирования более обоснованный выбор параметров нагнетателей, поскольку за счет гравитационных сил давление в смесителе эрлифта приобретает ощутимое приращение на фоне конечного давления нагнетателя. В упомянутом выше примере давление нагнетателя может быть принято на 20-25% меньше пускового давления в смесителе глубоководного эрлифта.

Список источников.

1. Логвинов Н.Г. и др. Исследование переходных процессов при пуске эрлифта на верхнем смесителе. — Донецк. — 1982 — 11с. Деп. УкрНИИТИ, №3529.