





смочена быстро испаряющейся жидкостью или если происходит конденсация пересыщенного пара на капле, то имеет место относительное движение капли и пара, известное как течение Стефана [4]. Для сферических капли или частицы скорость относительного движения равна

$$v = \frac{D(C_S - C_\infty)\alpha M}{Cr^2 M'}$$

где D — коэффициент диффузии газа в смесь, M — молекулярный вес газа, M' — молекулярный вес воды, r — расстояние, измеряемое от центра капли, C_S — концентрация воды при $r = a$, C_∞ — концентрация воды при $r = \infty$, C — концентрация газа.

6

- 1 
- 2 
- 3 
- 4 

■

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ ПОДЪЕМНОЙ ТРУБЫ КОРОТКОГО ЭРЛИФТА

Малыгин С.С. канд. техн. наук, доц.,

Малеев В.Б. канд. техн. наук, доц

Доказано, что в коротком эрлифте с квадратным сечением подъемной трубы прекращается вращательное движение газожидкостной смеси. Получена зависимость для определения подачи такого эрлифта.

Is proved, that in short air-lift with a square cut of an elevating pipe the rotary driving gas-liquid of a mixture stops. The association for the definition of feeding such air-lift is obtained

Короткие эрлифты ($(H + h)/d < 40$) в настоящее время получили довольно широкое применение в народном хозяйстве. Они используются при золошлакоудалении на тепловых элект-

тростанциях, на углубке и расчистке морских судоходных каналов и фарватеров, в качестве гидротранспортных установок технологических цепей горнообогатительных предприятий, при гидравлической очистке водосборных емкостей на угольных шахтах и рудниках, для транспортировки и обработки бытовых и промышленных стоков на очистных сооружениях городов, в качестве циркуляционных установок обезжиривающих и травильных ванн в трубном производстве и т.д. Область использования коротких эрлифтов в различных отраслях народного хозяйства непрерывно расширяется. В связи с этим растет разнообразие условий их работы, требуемых параметров и конструкций.

При сравнительно простом устройстве эрлифту присущ очень сложный рабочий процесс подъема жидкости. Движение газо-жидкостной смеси в подъемной трубе эрлифта осуществляется за счет искусственного изменения ее плотности путем ввода через смеситель определенного количества сжатого воздуха и его последующего расширения при совместном с жидкостью восходящем движении. Это движение происходит под действием гравитационного поля Земли за счет энергии расширения вводимого в подъемную трубу сжатого воздуха. Следовательно, возбудитель движения находится внутри рассматриваемой системы (подъемной трубы) и никаких других внешних возбудителей движения газожидкостной смеси нет. Такое движение является свободным.

Передача энергии от менее плотной среды (сжатый воздух) к более плотной (жидкость) происходит не мгновенно, а в течение определенного времени и на определенном пути. При этом сжатый воздух не растворяется в жидкости, а движется в виде пузырей различного объема в восходящем направлении.

Исследованиями ряда авторов [1] установлено, что на пузырь газа или пара, всплывающий в объеме жидкости значительного поперечного сечения действуют: подъемная сила, вызываемая градиентом давления в направлении движения пузыря, сила сопротивления окружающей пузырь массы жидкости и сила поверхностного натяжения. Последняя стремится придать пу-

зырю шарообразную форму. С использованием модификации Стоксового закона сопротивления твердых сферических частиц Хадамард и Рибчинский [3, 4] получили решение уравнения движения пузыря без учета сил инерции в поле потока

$$F_c = 6\pi\bar{\mu}v_0 \frac{3\bar{\mu} + 3\bar{\mu}_p}{3(\bar{\mu} + \bar{\mu}_p)}.$$

Но с учетом изменения напряжений на границе раздела, обусловленных совместным влиянием поверхностного натяжения и динамической составляющей, распределение которой по поверхности сферы неравномерно, выражение для силы сопротивления примет вид:

$$F_c = 6\pi\bar{\mu}v_0 \frac{\mu_s + r(2\bar{\mu} + 3\bar{\mu}_p)}{\mu_s + 3r(\bar{\mu} + \bar{\mu}_p)},$$

где μ_s - коэффициент поверхностной вязкости; $\bar{\mu}$ и $\bar{\mu}_p$ - вязкость жидкости вне и внутри сферы соответственно; v_0 - скорость центра сферы относительно жидкой среды; r - радиус сферы.

Вследствие неодинаковости давлений по окружности пузыря он деформируется. При этом, чем больше объем пузыря, тем более его форма отличается от шаровой, так как снижается влияние силы поверхностного натяжения. Она становится малой по сравнению с другими двумя действующими на пузырь силами со стороны жидкой фазы. Так как подъемная сила и сила сопротивления движению пузыря действуют в противоположных направлениях, то он начинает сплющиваться. Причем пузырь сплющивается в плоскости, нормальной направлению его движения, увеличивая силу сопротивления. Это приводит к снижению скорости всплытия пузыря и, при достижении ею какого-то минимального значения, изменению направления его движения на 90° , при котором уменьшается площадь его сечения, нормальная новому направлению движения. В новом направлении из-за снижения силы сопротивления опять возрастает влияние силы поверхностного натяжения, и пузырь снова стремится принять шарообразную форму, которая в дальнейшем, из-за от-

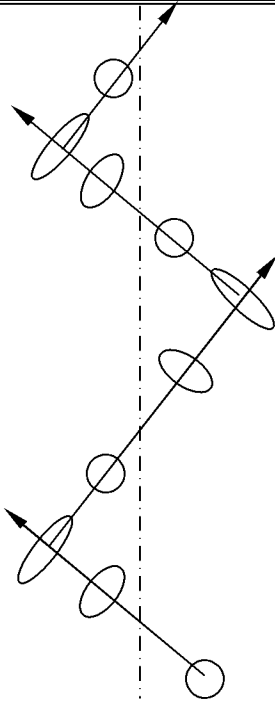


Рис.1 - Движение одиночного пузыря в жидкости

меченных выше причин, опять начинает переходить в сплюснутую. Таким образом, пузырь все время движется с переменной скоростью, изменяя свою траекторию, как показано на рис.1.

При ограниченном круглом сечении подъемной трубы и не одиночном, а групповом движении воздушных пузырей такое изменение их скоростей и траекторий приводят к колебательному процессу и возникновению вращательного движения газожидкостной смеси на отдельных участках подъемной трубы эрлифта круглого сечения.

При возникновении вращательного движения газожидкостной смеси жидкая фаза, имеющая значительно большую плотность (в 600 ... 800 раз) под действием возникающих центробежных сил отбрасывается к стенке подъемной трубы, а воздушные пузыри сливаются в сплошной газообразный шнур длиной до нескольких метров, движущийся около оси трубы.

В длинных эрлифтах длина подъемной трубы значительно больше длины образующихся газовых шнуров. Поэтому, находясь в замкнутых объемах, за счет интенсивного перемешивания газообразная фаза продолжает передавать энергию жидкой.

Если же подъемная труба короткого эрлифта, особенно при значительных диаметрах (> 100 мм), имеет длину в несколько метров, то при круглой форме сечения в ней за счет вращательного движения газожидкостной смеси также будут образовываться газовые шнуры, но их длина может периодически превышать длину подъемной трубы. Это будет происходить тем

чаще, чем меньше отношение $(H+h)/d$. Когда газовый шнур становится больше длины подъемной трубы эрлифта, на всей ее длине образуется непрерывный газовый канал, по которому свободно проходит объем воздуха, практически не передавая энергии жидкой фазе. Такое явление приводит к значительному снижению экономичности короткого эрлифта.

Его можно предотвратить или хотя бы значительно снизить, только исключив возникновение вращательного движения газожидкостной смеси в подъемной трубе.

Как показали проведенные ранее в ДПИ и на Днепропетровском трубопрокатном заводе экспериментальные исследования циркуляционных эрлифтов [2], вращательное движение газожидкостной смеси можно ликвидировать, заменив круглую форму сечения подъемной трубы на квадратную. При квадратном сечении подъемной трубы колебательный процесс движения газожидкостной смеси сохраняется, но прекращается ее вращательное движение вследствие многократного отражения воздушных пузырей навстречу друг другу от противоположных плоских стенок.

Согласно экспериментальным исследованиям, форма пузырьков близка к сферической, даже при больших числах Рейнольдса при условии сохранения малым числа Вебера ($We = 2r \cdot \rho_* v_0^2 / \sigma$, где σ - поверхностное натяжение на границе раздела). Пузырьки сохраняют сферическую форму при значениях числа Рейнольдса до 400. При более высоких числах Рейнольдса пузырьки становятся плоскими, превращаясь из сплюсченного сфероида в сфероидальную чашку. При этом в пузырьках газа устанавливается тороидальная циркуляция, усиливающаяся с ростом диаметра пузырьков и коэффициент сопротивления таких пузырьков

$$C_D = \frac{32}{Re} \left[1 + 2 \frac{\bar{\mu}_p}{\bar{\mu}} - 0,314 \frac{1 + 4(\bar{\mu}_p + \bar{\mu})}{Re^{1/2}} \right].$$

Испытания проводились при относительных погружениях от 0,6 до 0,75.

Для определения подачи короткого эрлифта с подъемной трубой круглого сечения на оптимальном режиме нами ранее была предложена эрлифтная зависимость [2], дающая удовлетворительную сходимость с реальными данными при $l/d \leq 20$:

$$Q = 0,305 \frac{\alpha^{0,5} \cdot d^{2,5}}{(\lg d \cdot \ln(55/h))^{1,5}}, \text{ м}^3/\text{час},$$

где α - относительное погружение;

d – внутренний диаметр подъемной трубы, см;

h – глубина погружения смесителя, м.

Для определения оптимальной подачи короткого эрлифта при квадратном сечении подъемной трубы можно воспользоваться этой зависимостью, умножив ее на коэффициент увеличения подачи k_y , и, заменив входящий в нее диаметр d эквивалентным при квадратном сечении

$$d_3 = \frac{2a}{\sqrt{\pi}}, \text{ м}$$


где a – размер стороны квадрата, м.

Следовательно, зависимость для определения оптимальной подачи эрлифта с квадратным сечением подъемной трубы будет иметь вид:

$$Q = 0,305 k_y \frac{\alpha^{0,5} \cdot (2a/\sqrt{\pi})^{2,5}}{[\lg(2a/\sqrt{\pi}) \cdot \ln(55/h)]^{1,5}}, \text{ м}^3, \text{ час}.$$

Для выявления возможных других рациональных форм сечений подъемных труб коротких эрлифтов, кроме квадратной, необходимы дальнейшие исследования.

☛

- 1 
- 2 
- 3 
- 4 