

УДК 621.695

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЭРЛИФТА

А.С. Глушко, А.П. Кононенко

ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет"

Разнообразие условий практического применения эрлифтов во многих отраслях промышленности вызвало потребность в разработке нескольких методов их расчета. Приведены результаты анализа существующих математических моделей рабочего процесса эрлифта, обоснована потребность в усовершенствовании методов расчета газожидкостных подъемников.

Для характеристики движения двухфазных потоков в вертикальных трубах используют осредненные во времени и пространстве параметры. Используемые параметры обычно разделяют на расходные и истинные.

Основными расходными параметрами двухфазного потока являются: $M_{ж}$ и $M_г$ – массовые расходы жидкости и газа; $Q_{ж}$ и $Q_г$ – объемные расходы жидкости и газа; $v_{ж}$ и $v_г$ – средние скорости жидкости и газа; X – массовое расходное газосодержание потока; β – объемное расходное газосодержание потока; ρ_β – средняя расходная плотность потока.

Истинные параметры двухфазного потока: φ – истинное объемное газосодержание; $w_г$ – истинная скорость газа; $w_{ж}$ – истинная скорость жидкости; $w_{отн}$ – относительная скорость фаз; ρ_c – истинная плотность смеси.

Математическое моделирование и количественный анализ рабочего процесса эрлифта базируется на использовании фундаментальных уравнений сохранения – массы и количества движения.

В настоящее время создание единой теоретической модели для нескольких структур газожидкостной смеси не представляется возможным из-за сложности процессов.

Простейшей моделью газожидкостного потока в трубе является гомогенная, введенная Г. Лоренцом [1,2]. В данной модели относительная скорость газа и жидкости принимается равной нулю, смесь рассматривается как однофазная жидкость, обладающая соответствующими реальному потоку средними свойствами, и движение смеси

описывается уравнениями однофазной среды. В соответствии с гомогенной моделью:

$$\varphi = \beta; \quad v_z = \frac{v_{жс}}{1-\beta} = \frac{v_z}{\beta}; \quad \rho_c = \rho \frac{v_{жс}}{v_c}.$$

К сожалению, лишь в редких случаях гомогенная модель дает результаты, достаточно близкие к реальным. Поэтому для практических расчетов эту модель используют лишь в качестве грубого приближения.

Модель раздельного течения основана на использовании уравнений неразрывности движения и энергии отдельно для каждой фазы. Получение такого решения не представляется возможным и реализация модели раздельного течения сводится к эмпирическому (или полуэмпирическому) получению критериального уравнения для определения истинного газосодержания

$$\varphi = \varphi[\beta, Fr_c, Re_c, We, \bar{\rho}, \bar{\mu}, \dots],$$

где Fr_c – критерий Фруда; Re_c – критерий Рейнольдса; We – критерий Вебера; $\bar{\rho}$ – относительная плотность; $\bar{\mu}$ – относительная динамическая вязкость.

При этом далеко не все критерии, входящие в вышеприведенное уравнение оказывают существенное влияние на величину φ .

Известен целый ряд критериальных уравнений для определения φ , однако все они, как правило, позволяют получить достоверные результаты лишь в области параметров потока, для которых они получены.

Более универсальной является модель, аналитически учитывающая взаимное скольжение газа и жидкости, названная Г. Уоллисом моделью дрейфа. Данная модель представляет собой модель раздельного течения, в которой исследуется не движение отдельных частиц, а их относительное движение. Теория потока дрейфа широко используется при исследовании пузырьковых, снарядных и дисперсных течений газожидкостных систем. В общем виде уравнение потока дрейфа имеет вид:

$$\varphi = \frac{v_z}{C_1(v_z + v_{жс}) + v^*},$$

где C_1 – коэффициент, как правило, принимают $C_1 = 1,2$; v^* – скорость потока дрейфа:

$$v^* = C_2 v_n,$$

где v_n – скорость подъема одиночного пузырька газа в жидкости; C_2 – коэффициент, характеризующий взаимодействие пузырьков между собой или стенками трубопровода.

Преимуществом модели потока дрейфа является то, что результаты расчета достаточно хорошо согласуются не только с данными для движения газожидкостного потока, но и для непроточного барботажного слоя ($v_{жс} = 0$).

Наряду с вышеизложенными общими моделями процесса движения двухфазных потоков для конкретных условий разработан ряд частных теоретических и эмпирических моделей, основывающихся на отдельных сторонах взаимодействия газа и жидкости в подъемной трубе эрлифта: модель, основанная на учете "подъемной силы газа" А.П. Крылова, энергетическая модель Верлюиса, модель "негерметичного поршня" и ряд других.

Наиболее часто используется гомогенная модель Г. Лоренца, в которой уравнение подачи эрлифта выглядит следующим образом:

$$Q_3 = \frac{1}{1 + q \frac{p_0}{p_0 + \rho gh / 2}} \left[\frac{h}{a_s} \left(1 + q \frac{p_0}{p_0 + \rho gh / 2} - \frac{1}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{2}},$$

где a_s – коэффициент сопротивления подъемной трубы эрлифта; h – геометрическое погружение смесителя; p_0 – атмосферное давление; ρ – плотность транспортируемой среды; g – ускорение свободного падения.

Н.М. Герсеванов предложил вести расчет эрлифта по энергии, затрачиваемой на преодоление сопротивления движению пузырьков газа в жидкой среде. Предложенная методика расчета не учитывала изменение форм движения смеси в подъемной трубе эрлифта при различных режимах работы, поэтому результаты газожидкостных подъемников, работающих при больших перепадах давлений, имели значительное отклонение от практических замеров.

Метод расчета эрлифта, к авторам которого отнесены академик А.П. Германом и профессора П.П. Агрунов и В.Г. Гейер, основан на

применении безразмерных характеристик. Используя уравнение Д. Бернулли для сжимаемой однородной жидкости, получены зависимости, позволяющие применять данные испытаний эрлифтов для анализа внутренних явлений в трубе эрлифта. Наиболее ценным выводом является то, что ученые указали на существование безразмерных характеристик эрлифта, главным из которых является относительное погружение эрлифта $\alpha = h/(H + h)$ (H – высота подъема эрлифта). Относительное погружение определяет для данного диаметра подъемной трубы D расход воздуха Q_6 и подачу эрлифта Q_3 , что широко использовалось в дальнейшем и в других работах.

Наибольшее распространение получила методика профессора В.Г. Гейера, во многом базировавшаяся на выполненных им ранее исследованиях. В основу расчета положен баланс мощностей потока жидкости и газа в подъемнике при принятой относительной скорости фаз, равной 0,3 м/с. Основное уравнение, полученное ученым, имеет вид:

$$Q_3 = 0,125D^{2.5} \sqrt{\frac{23q \cdot \log\left(\frac{h}{10} + 1\right) - H}{(q + 1)^2 \frac{D^5}{D_6^4} + 0,022(H + h) + 23 \frac{q}{h} \cdot \log\left(\frac{h}{10} + 1\right)}}$$

где D_6 – диаметр выходного торца подъемной трубы; q – удельный расход воздуха.

Обозначив выражение под корнем, умноженное на 0,125, через коэффициент подачи C , уравнение примет вид

$$Q_3 = C \cdot D^{2.5}.$$

Расход воздуха вычисляется по выражению

$$Q_6 = q \cdot Q_3,$$

Значения коэффициента подачи эрлифта и удельного расхода воздуха определяются по эмпирическим зависимостям $C = f(\alpha)$ и $q = f(\alpha)$.

Правомерность разработанной методики подтверждена многими эффективно работающими эрлифтными установками. Многочисленные теоретические и экспериментальные работы ученых школы про-

фессора В.Г. Гейера позволили разработать метод расчета эрлифта в оптимальном режиме работы (при максимальном КПД).

К недостаткам разработанной математической модели эрлифта следует отнести принятую гомогенную физическую модель и постоянство значений коэффициентов сопротивления λ в оптимальном режиме работы эрлифта для всех реализуемых в подъемнике структур двухфазных потоков. Различные структуры водовоздушных смесей, в том числе изменяющиеся по высоте подъемных труб, определяются режимами работы газожидкостных подъемников.

Однако существующие методики количественной оценки гидродинамических параметров газожидкостных потоков в подъемнике требуют уточнения, что влечет за собой необходимость разработки адекватных физических и математических моделей рабочего процесса эрлифта.

Библиографический список

1. Энциклопедия эрлифтов // Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко. – М.: Информсвязиздат, 1995. – 592 с.
2. Эрлифтные установки: учебное пособие // В.Г. Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, Я.К. Антонов. – Донецк: ДПИ, 1982. – 64 с.