

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗЛИФТА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОТРАНСПОРТА - ГАЗООЧИСТКИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ ШАХТНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Гого В.Б., канд. техн. наук, доц.,
Красноармейский филиал ДонГТУ

Поставлена и решена задача по определению термодинамических параметров газлифтного потока с целью разработки газлифта для эффективной комплексной системы гидротранспорта-газоочистки продуктов сгорания угля в условиях шахтной котельной, что улучшает экологическое состояние шахты.

There is the thermodynamics of gaslift stream the dispersion structure which can determine terminal size of liquid and gas for complex system of hydrotransport-gascleaning the products of combustion coal in the conditions of mine boiler-house.

Шахтная котельная важный объект поверхностного комплекса шахты, который обеспечивая ее тепловой энергией, создает значительные проблемы из-за выбросов вредных веществ с дымовыми газами. Поступающие в атмосферу зола, оксиды серы и углерода активизируют процессы коррозии металлического оборудования поверхностного комплекса шахты, ухудшают ее вентиляцию, вредно действуют на здоровье рабочих и состояние окружающей среды.

Установленное в настоящее время на котельных газоочистное оборудование не эффективно и не решает вышеназванных проблем.

Проведенные исследования показали, что эффективной системой транспорта-очистки дымовых газов в условиях шахтной котельной является комплексная газлифтная система гидротранспорта-газоочистки, которая рационально использует свойства продуктов сгорания угля, как вторичных энерго-материальных ресурсов, в объединенном процессе транспорта и газоочистки в газлифте - известной ранее горношахтной установке - эрлифте.

Для разработки газлифта необходимо знать термодинамические параметры его компонентов - рабочего газа и транспортируемой жидкости. Эти параметры входят в основную расчетную зависимость, определяющую удельный массовый расход пульпы. Известные исследования эрлифтов такой задачи не решали, так как происходившие в

них процессы были изотермические.

Рассмотрим энергетический баланс дисперсного термодинамического тела газлифта (теплопотенциального газа и капельной жидкости) в элементарном объеме. По закону сохранения энергии имеем:

$$dU = (dQ + dZ) - (dL - dZ_k), \quad (1)$$

где dU - изменение полной внутренней энергии газлифтного тела ; dQ - теплообмен между средой и термодинамическим телом ; dZ - энергия, поступившая в элементарный объем с компонентами; dL - механическая работа в объеме ; dZ_k - энергия, ушедшая из объема с отделившимися компонентами (противоток).

Интегрируя (1), получим уравнение для внутренней энергии газлифтного тела переменной массы в заданном объеме :

$$U = U_0 + [Q - L + (Z - Z_k)]. \quad (2)$$

Трансформируем известное уравнение состояния идеального газа, принимая для теплоемкости линейную зависимость. Получим :

$$pW = jR \frac{a}{b} \left[\left(1 + \frac{2bU}{a^2 j} \right)^{0,5} - 1 \right], \quad (3)$$

где p - давление газлифтного тела ; W - объем газлифтного тела ; j - масса ; R - универсальная газовая постоянная ; a, b - параметры, определяющие среднюю теплоемкость газлифтного тела для определенного интервала температуры ; U - внутренняя энергия газлифтного тела.

Учитывая (2) и (3), получим выражение, определяющее давление газлифтного тела в заданном объеме при переменной теплоемкости :

$$p = R \frac{a}{bw} \left\{ \left[1 + (U_0 + Q + Z - Z_k + L) 2b (a^2 j)^{-1} \right]^{0,5} - 1 \right\}. \quad (4)$$

Однако, интерес представляет выражение для изменения давления газлифтного тела. Используем соотношения :

$$W = w \cdot j ; \quad (5)$$

$$pW = jRT, \quad (6)$$

где w - удельный объем газлифтного тела.

Прологарифмируем и продифференцируем выражения (5) и (6):

$$\frac{dw}{w} = \frac{dW}{W} - \frac{dj}{j}, \quad (7)$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{dp}{p} + \frac{dW}{W} - \frac{dj}{j}, \quad (8)$$

$$d(pw) = RdT, \quad (9)$$

$$\frac{dp}{p} = +\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{dT}{T}. \quad (10)$$

Учитывая (4), получим

$$\frac{dp}{p} = \left[K_0 - (K_0 - 1)\varphi + \frac{b}{a}T \right] \left[\frac{dj}{j} - \frac{dW}{W} \right] \left(1 + \frac{b}{a}T \right)^{-1}.$$

Откуда скорость изменения давления :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{p}{W} \left[K_0 - (K_0 - 1)\varphi + \frac{b}{a}T \right] \left[\frac{Wdj}{jdt} - \frac{dW}{dt} \right] \left(1 + \frac{b}{a}T \right)^{-1}. \quad (11)$$

Скорость изменения температуры газлифтного тела составит :

$$\frac{dT}{dt} = \left[Rj \left(1 + \frac{b}{a}T \right)^{-1} (K_0 - 1)(1 - \varphi) \right] \left(RT \frac{dj}{dt} - \frac{dL}{dt} \right), \quad (12)$$

где K_0 - показатель адиабаты; φ - показатель относительного энергообмена рабочего тела газлифта и окружающей среды.

Выражение (12) позволяет оценить скорость изменения температуры газлифтного тела в рабочем объеме газлифта с учетом относительного энергообмена и совершаемой механической работы. Однако непосредственная количественная оценка весьма затруднительна, поэтому предположим, что течение газлифтного потока одномерно и стационарно, а изменение параметров происходит только по высоте подъемной трубы газлифта.

Для дисперсной структуры газлифтного потока можно предположить, что распределение жидкой фазы по размерам фракций (капель) определяется нормированной массовой функцией плотности распределения, т.е.

$$\int_0^{\infty} g(m) dm = 1, \quad (13)$$

$$d\dot{G}(m) = \dot{G}g(m)dm, \quad (14)$$

где $g(m)$ - нормированная массовая функция плотности распределения капель; \dot{G} - расход жидкой фазы; $d\dot{G}(m)$ - расход капель заданной фракции. Пределы интегрирования от 0 до ∞ условно означают минимальную и максимальную массу жидких частиц, учитываемых в расчете.

Уравнения движения и теплообмена для жидкостных фракций определенной массы запишем в виде :

$$\frac{dV(m_i)}{dZ} = \frac{3}{4} C_Z \rho_r(Z) \frac{[V_r(Z) - V(m_i)]^2}{V(m_i) \rho d(m_i)}, \quad (15)$$

$$\frac{dT(m_i)}{dZ} = \frac{6\alpha_i [T_r - T(m_i)]}{V(m_i) \rho C d(m_i)}$$

где $V(m_i)$ - скорость капли определенной фракции ; $V_r(Z)$ - скорость газа ; C_Z - коэффициент аэродинамического сопротивления капли ; ρ - плотность жидкости ; $d(m_i)$ - диаметр капли ; α_i - коэффициент теплоотдачи от газа к жидкости ; T_r - температура газа ; $T(m_i)$ - температура жидкой фракции ; C - теплоемкость жидкости.

Запишем уравнения неразрывности для частиц жидкости заданной фракции и газа :

$$V(m) F \rho dm = \varepsilon \dot{G} g(m) dm, \quad (17)$$

$$\rho_r V_r F = (1 - \varepsilon) \dot{G}, \quad (18)$$

где F - площадь сечения подъемной трубы ; \dot{G} - расход смеси (газлифтного тела) ; ε - массовая доля жидкой фазы потока .

Учитывая (17) и (18), получим выражение для функции плотности распределения массы жидких фракций в единице объема рабочего тела газлифта :

$$\rho(m) = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \rho_r \frac{V_r}{V(m)} g(m). \quad (19)$$

Уравнения движения и энергии для рабочего тела газлифта запишем в виде :

$$\rho_r V_r \frac{dV_r}{dZ} + \frac{dp}{dZ} + \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \rho_r V_r \int_0^\infty \frac{dV(m)}{dZ} g(m) dm = 0, \quad (20)$$

$$(1 - \varepsilon) \left(C_p \frac{dT_r}{dZ} + V_r \frac{dV_r}{dZ} \right) + B = 0, \quad (21)$$

$$B = \varepsilon \int_0^\infty \left[C \frac{dT(m)}{dZ} + V(m) \frac{dV(m)}{dZ} \right] g(m) dm. \quad (22)$$

Прологарифмируем и продифференцируем уравнение состояния газа (несущего компонента газлифтного тела):

$$p = \rho_r T_r \frac{R}{\mu},$$

$$\frac{1}{p} \frac{dp}{dZ} - \frac{1}{T_r} \frac{dT_r}{dZ} - \frac{1}{\rho_r} \frac{d\rho_r}{dZ} = 0, \quad (23)$$

$$\rho_r = \rho_{r0} \left(\frac{Z}{H} \right)^{1/k}, \quad (24)$$

где μ - молярная масса газа ; ρ_{r0} - плотность газа при нормальных условиях ; H - высота подъема смеси (газлифтного тела) ; k - показатель адиабаты .

Введем обозначения :

$$A = -\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \rho_r V_r \int_0^{\infty} \frac{dV(m)}{dZ} g(m) dm, \quad F = \frac{1}{\rho_r} \frac{d\rho_r}{dZ}.$$

Решая линейные уравнения (20 - 24) с учетом принятых обозначений относительно производных, получим :

$$\frac{dV_r}{dZ} = \left(F - \frac{A}{p} + \frac{B}{C_p T_r} \right) \left(\frac{V_r}{C_p T_r} - \frac{\rho_r V_r}{p} \right)^{-1}, \quad (25)$$

$$\frac{dT_r}{dZ} = \frac{B}{C_p} - \frac{V_r}{C_p} \frac{dV_r}{dZ}, \quad (26)$$

$$\frac{dp}{dZ} = A - \rho_r V_r \frac{dV_r}{dZ}. \quad (27)$$

Уравнения (15), (16), (25 - 27) объединенные в систему, решаются методом численного интегрирования. Начальные условия принимаются, исходя из того, что на входе в подъемную трубу газлифта параметры газа и жидкости известны. В результате численного интегрирования определяются скорость и температура жидких фракций, скорость газа. После каждого шага температура газа находится из соотношения :

$$T_r = T_{r0} - \frac{1}{C_p} \left\{ \frac{V_r^2}{2} + \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \int_0^{\infty} \left[CT(m) - CT_0(m) + \frac{V^2(m)}{2} \right] g(m) dm \right\} \quad (28)$$

При движении частиц (капель) в потоке возможно слияние (агломерация) мелких и крупных капель. В то же время вследствие действия аэродинамических и гравитационных сил происходит и распад капель. Однако в рамках принятой модели газлифтного потока эти эффекты не учитываются, исходя из предположения их равновесия.

Таким образом, рассматривая термодинамику газлифтного потока дисперсной структуры, можно аналитически определить параметры жидкости и газа на выходе из подъемной трубы газлифта, что

позволяет рассчитать газлифтную установку для комплексного процесса гидротранспорта-газоочистки продуктов сгорания угля - дымовых газов.

Список источников.

1. Пак В.В., Гого В.Б. Математическое моделирование процессов, происходящих в атмосфере угольного региона // Уголь Украины.-1998.-№5.
2. Пак В.В., Гого В.Б. Стратегическое направление эколого-энергетической реструктуризации шахт // Уголь Украины.- 1997.-№10.
3. Булат А.Ф., Чемерис И.Ф., Кибкало М.Н. Малая энергетика – основа диверсификации деятельности угледобывающих предприятий // Уголь Украины.- 1999.- №10.

УДК621.692

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ГАЗЛИФТНОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОТРАНСПОРТА - ГАЗООЧИСТКИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ УГЛЯ КАК СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Гого В.Б., канд. техн. наук, доц.,
Красноармейский филиал ДонГТУ

Исследована газлифтная система гидротранспорта-газоочистки продуктов сгорания угля для шахтной котельной и доказана синергетичность ее структуры при рациональном сочетании процессов лифтирования и очистки газов с элементами конструкции газлифта.

It is researched gaslift system of hadrotransport-gascleaning the wastes of coal for mane boiler-house and adduced his synergetic of structure.

Комплексная газлифтная система (КГС) гидротранспорта - газоочистки продуктов сгорания угля - дымовых газов и золовых отходов, образующихся в условиях теплотехнических объектов шахт - шахтных котельных, породных отвалов, является синергетической структурой, в которой проявляются «закономерности самоорганизующегося процесса сложных диссипативных систем» [1]. Исходные свойства компонентов газлифтного потока - щелочной золовой пульпы и кислотного раствора окислов серы дымовых газов в этой пульпе рационально сочетаются в физико-химическом процессе их очистки при взаимодействии во время лифтирования пульпы дымовыми газами.

В КГС использовано новое функциональное качество применения известной горношахтной установки - эрлифта (газлифта) как средства гидротранспорта и одновременно устройства гидравличе-