ристик встроенных сепараторов сложных энергоблоков // Науч. и прикл. пробл. энергетики. – Мн.: Выш. шк. – Вып. 14. – С. 71–73. 5. Корольков Б.П. Специальные функции для исследования динамики нестационарного теплообмена. – М.: Наука, 1976. – 220 с.

УДК 541.628

А.В. КОЧЕТКОВ, И.А. ГИЛИС, Р.В. МОНТВИЛАС

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЮЧЕЙ ПЕНЫ

В настоящее время уделяется большое внимание созданию безотходных производств в различных областях промышленности, что связано с созданием и исследованием новых более эффективных методов обезвреживания стоков.

Разработан метод термического обезвреживания стоков, загрязненных поверхностно-активными веществами (ПАВ). Суть метода заключается в том, что сточные воды путем барботажа горючего газа и воздуха превращаются в статически устойчивую ячеистую горючую пену, которая сжигается и тем самым уничтожаются вредные органические соединения.

Разработка реальных конструкций установок по сжиганию стоков в пенообразном состоянии требует совершенствования методов расчета процессов тепломассообмена, происходящих в них. Расход газообразного топлива, условия и режим горения такой пены зависят (помимо других факторов) от геометрических характеристик создаваемой пены.

Определим основные геометрические характеристики трехкомпонентной горючей пены, состоящей из раствора ПАВ (объемный расход Q_f), воздуха (объемный расход $Q_в$) и горючего газа (объемный расход $Q_г$).

В момент отрыва газовых пузырьков от сопла существует равновесие подъемной силы и силы поверхностного натяжения т. е.

$$\pi d_0 \sigma = \frac{\pi d_в^3}{6} (\rho_f - \rho_в) g \; ; \; \pi d_0 \sigma = \frac{\pi d_г^3}{6} (\rho_f - \rho_г) g \, , \qquad (1)$$

где d_0 – диаметр барботажного сопла, м; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; $d_в$, $d_г$ – диаметры пенных пузырей, заполненных воздухом и горючим газом, м; ρ_f, $\rho_в$, $\rho_г$ – плотность жидкости, воздуха и горючего газа соответственно, кг/м^3.

Из уравнения (1) выразим

$$d_г = k d_в = 2{,}451 k a_в \, ,$$

где k – коэффициент:

$$k = \sqrt[3]{\frac{\rho_f - \rho_в}{\rho_f - \rho_г}} \, ;$$

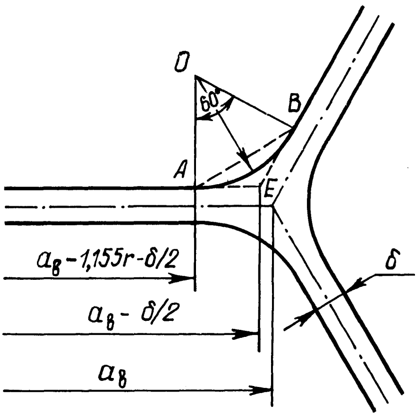

Рис. 1. Элементарный канал Плато

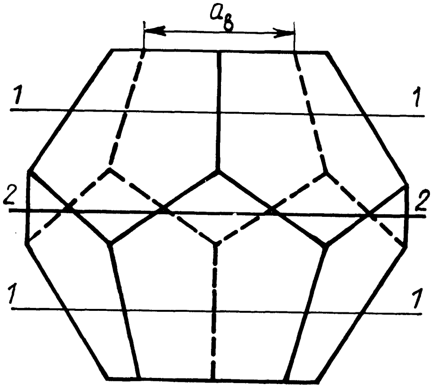

Рис. 2. Элементарная пенная ячейка

$a_в$ – длина ребра додекаэдрообразного пузыря, наполненного воздухом, м ; $a_в = d_в/2{,}451$.

Если площадь поперечного сечения канала обозначить через F , то

$$F = F_в + F_г ,$$

где $F_в$, $F_г$ – приведенные площади, занятые пузырьками, заполненными воздухом и горючим газом соответственно, м^2 .

Введем обозначение

$$\alpha = Q_г/Q_в = F_г/F_в = D_г^2/D_в^2 .$$

Тогда

$$D_в = D\left(\frac{1}{1+\alpha}\right)^{0,5}; \quad D_г = D\left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right)^{0,5} ,$$

где D – эквивалентный диаметр пеногенераторного канала, м; $D_в$, $D_г$ – приведенные диаметры площадей воздуха и горючего газа соответственно, м.

Число пенных пузырей, заполненных воздухом и горючим газом, в поперечном сечении канала будет

$$n_в = \frac{D_в^2}{d_в^2} = \frac{D}{6a_в^2}\,\frac{1}{(1+\alpha)}; \quad n_g = \frac{D_g^2}{d_г^2} = \frac{D^2}{6a_в^2}\,\frac{\alpha}{k^2\,(1+\alpha)} .$$

Общее число пенных пузырей в поперечном сечении пеногенераторного канала

$$n = n_в + n_г = A\,\frac{D^2}{6a_в^2}\,(1 + \frac{\alpha}{k^2}) ,$$

где A – коэффициент: $A = 1/(1+\alpha)$.

Общий периметр всех пузырей в поперечном сечении канала

$$\Pi = n_{в}\pi d_{в} + n_{г}\pi d_{г} = \frac{A}{2{,}451}\,\frac{\pi D^2}{a_{в}}\,(1 + \frac{\alpha}{k})\ .$$

Если толщина жидкой прослойки пузыря δ , то площадь, занимаемая жидкостью в сечении *1–1* канала, согласно геометрическим расчетам по рис. 1, будет [2] :

$$f_{ж.п1} = \Pi\frac{\delta}{2} + 5nS = \frac{D^2}{a_{в}^2}A\,(0{,}641a_{в}\delta\,(1 + \frac{\alpha}{k}) +$$

$$+ 0{,}045r^2\,(1 + \frac{\alpha}{k^2}))\ ,$$

где 5 – число ребер одной пенной ячейки в сечении *1–1*; S – площадь фигуры ABE , м^2 ; $S = 0{,}054r^2$; r – радиус кривизны канала Плато, м.

Периметр жидких прослоек с вычетом каналов Плато

$$\Pi' = \pi n_{г}d'_{в} + \pi n_{г}d'_{г} = \frac{A}{2{,}451}\,\frac{\pi D^2}{a_{в}^2}\,(a_{в}(1 + \alpha/k) -$$

$$- 1{,}155r\,(1 + \alpha/k^2))\ ,$$

где $d'_{в}$ – диаметр пузыря воздуха без учета толщины пленки: $d'_{в} = 2{,}451\,(a_{в} - 1{,}155r - \delta/2)$; $d'_{г}$ – диаметр пузыря газа без учета толщины пленки: $d'_{г} = 2{,}451\,(a_{г} - 1{,}155r - \delta/2)$.

Принимаем, что $r_{г} = r_{в} = r$; $\delta \ll a_{в}$; $\delta \ll r$.

Тогда площадь, занятая жидкими пленками в сечении канала *1–1*, с вычетом площади каналов Плато

$$f_{ж1} = \Pi'\delta/2 = 0{,}641\frac{D^2}{a_{в}^2}A\delta\,(a_{в}(1 + \alpha/k) - 1{,}155r\,(1 + \alpha/k^2))\ .$$

Так как сечение *1–1* жидкие прослойки отсекают под углом $\theta = 30°$ (рис. 2) , то истинная их площадь

$$f'_{ж1} = f_{ж1}/\cos 30° = 0{,}74\,\frac{D^2}{a_{в}^2}A\delta\,(a_{в}(1 + \alpha/k) -$$

$$- 1{,}155r\,(1 + \alpha/k^2))\ .$$

Истинная площадь каналов Плато в сечении *1–1*

$$f_{п1} = (f_{ж.п1} - f_{ж1})/\cos 30° = 1{,}155\,\frac{D^2}{a_{в}^2}\,\mathrm{Ar}(1 + \alpha/k^2)(0{,}045r +$$

$$+ 0{,}74\delta)\ .$$

Проделав аналогичные вычисления для сечения 2–2, получим:

общую площадь жидких прослоек

$$f_{ж.п2} = П\delta/2 + 10nS = \frac{D^2}{a_в^2} A\,(0{,}641 a_в \delta (1 + \alpha/k) +$$

$$+ 0{,}09 r^2\,(1 + \alpha/k^2))\ ,$$

истинную площадь каналов Плато (сечение 2–2 отсекает каналы Плато под углом $\theta = 55{,}6°$ (рис. 2))

$$f = \frac{f_{ж.п2} - f_{ж1}}{\cos 55{,}6°} = 1{,}77 \frac{D^2}{a_в^2}\ \mathrm{Ar}\,(1 + \alpha/k^2)\,(0{,}09r + 0{,}74\delta)\,.$$

Средняя площадь каналов Плато в любом поперечном сечении пеногенераторного канала

$$f_п = (2f_{п1} + f_{п2})/3 = \frac{D^2}{a_в^2}\ \mathrm{Ar}\,(1 + \alpha/k^2)\,(0{,}088r + 1{,}01\delta)\,.$$

Средняя площадь жидких прослоек с вычетом площади каналов Плато

$$f_ж = f'_{ж1} = f'_{ж2} = 0{,}74 \frac{D^2}{a_в^2} A\,\delta\,(a_в (1 + \alpha/k) - 1{,}155 r (1 + \alpha/k^2))\ .$$

Средняя площадь жидких прослоек

$$f_{ж.пр} = f_ж + f_п = \frac{D^2}{a_в^2} A\,(0{,}74 a_в\,\delta\,(1 + \alpha/k) + r\,(0{,}088r\ +$$

$$+ 0{,}155\,\delta)\,(1 + \alpha/k^2))\,.$$

Площадь одной грани додекаэдрообразного пузыря (согласно свойствам додекаэдра)

$$f_{пл} = (n_в f_{пл.в} + n_g f_{пл.д})/n = 1{,}728 a_в^2 k^2\,(1 + \alpha)/(k^2 + \alpha) = \pi R^2, \quad (2)$$

где

$$f_{пл.в} = 0{,}288\,d_в^2 = 1{,}728 a_в^2\,;$$

$$f_{пл.д} = 0{,}288 d_д^2 = 1{,}728 k^2 a_в^2\,.$$

Из уравнения (2) выражаем радиус кривизны эквивалентного круга $R = 0{,}742 a_в k\,((1 + \alpha)/(k^2 + \alpha))^{0{,}5}$.

Таким образом, можно рассчитать сечение пеногенераторного ствола.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 852027 СССР, G 05 B 5/00. Способ термического обезвреживания сточных вод. 2. Ц ы п к и н А.Г. Справочник по математике / Под ред. С.А. Степанова. – 3-е изд.– М.: Наука, 1983. – 480 с.

УДК 621.18

Г.И. ЖИХАР

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА В КИНЕТИЧЕСКО-ДИФФУЗИОННОЙ ОБЛАСТИ

Математическая модель должна учитывать основные факторы, влияющие на процесс горения жидкого топлива как в кинетической, так и в диффузионной области.

Математическая модель включает следующие уравнения.

1. Уравнение движения газовой среды для закрученной струи. В соответствии с [1] это уравнение в цилиндрических координатах запишется в следующем виде:

$$W_z = \frac{2a^2}{(1+a^2\eta^2/4)^2}\,\frac{1}{\overline{X}} - \frac{1}{2}\beta a^2\,\frac{(1-3a^2\eta^2/4)}{(1+a^2\eta^2/4)^3}\,\frac{1}{\overline{X}^2}\ ;$$

$$W_r = \sqrt{\epsilon}\,\Big(\frac{a^2\eta(1-a^2\eta^2/4)}{(1+a^2\eta^2/4)^2}\,\frac{1}{\overline{X}} - \frac{1}{2}\beta a^2\,\frac{\eta(1-3a^2\eta^2/4)}{(1+a^2\eta^2/4)}\,\frac{1}{\overline{X}^2}\Big);$$

$$W_\varphi = \gamma\,\frac{a\eta}{(1+a^2\eta^2/4)}\,\frac{1}{\overline{X}^2}\ ,$$

где $\overline{X}$ – относительная длина струи: $\overline{X} = X/d$.

Коэффициент турбулентной вязкости $\epsilon = a\sqrt{\dfrac{3K_0}{16\pi\rho}}$. Остальные величины, входящие в уравнения движения газовой среды, определяются по следующим формулам:

$$a = \frac{1}{\sqrt{a}}\sqrt[4]{\frac{3K_0}{16\pi\rho}}\ ;\quad \eta = \frac{1}{a}\,\frac{r}{\overline{X}a}\ ;$$

$$\gamma = \frac{1}{4a^2}\sqrt{\frac{3}{\pi}}\,\frac{L_0}{\sqrt{\rho K_0}}\ ;\quad \beta = \frac{Q_0}{2\pi\epsilon\rho}\ .$$

2. Уравнение движения горячей капли. В цилиндрических координатах это уравнение запишется в следующем виде [2] :