

сетчатых напорных фильтров с использованием газообразных энергоносителей.

2. Полученные формулы можно применять при проектировании напорно-фильтрующих установок заданной производительности с системами импульсной очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 969294 (СССР). Автоматическое устройство для очистки сетчатых фильтров / Д. А. Козлов, В. В. Ивашечкин // Бюл. изобр., 1982. – № 40.
2. Основы расчета газоимпульсной регенерации напорных сетчатых фильтров / В. В. Ивашечкин, А. Н. Кондратович, Г. К. Добриян, В. Г. Щербаков // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1993. – № 3–4. – С. 124–128.

Представлена кафедрой гидравлики

Поступила 28.01.2002

УДК 628.540

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФфуЗИОННОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ОБЕЗВРЕЖИВАНИИ СТОЧНЫХ ВОД В ПЕНОГЕНЕРАТОРЕ

Канд. техн. наук, доц. КОЧЕТКОВ А. В., инж. ШЕПЕТЬКО Ю. Л.

Белорусский национальный технический университет

Как показывает практика, традиционные способы обезвреживания сточных вод механическим, химическим, биологическим и другими способами не всегда оправданы. Существующие же термические способы обезвреживания промышленных сточных вод характеризуются высоким расходом топлива, низким коэффициентом полезного действия, вредными выбросами в атмосферу и прочими недостатками, ограничивающими их применение. Термический способ обезвреживания промышленных сточных вод в пеногенераторных реакторах не исключение.

Горючий пенный поток, полученный при вспенивании сточных вод с добавкой поверхностно активных веществ (ПАВ) с помощью горючего газа, состоит из пузырьков этого газа и пленок жидкости. Образующаяся пена захватывает вредные примеси (масла, эмульсии, смолы) и выносит их в камеру реактора [1]. В этом смысле обезвреживание в пеногенераторных реакторах является предпочтительным перед существующими термическими способами. В практике сжигание горючего пенного потока не имеет аналогов.

Экспериментально установлено, что процесс горения пенного потока происходит устойчиво при приведенных скоростях потока в интервале 0,03...0,07 м/с. При этом скорость подачи горючего пенного потока соответствует режиму статически устойчивой ячеистой пены (СУЯП) (рис. 1). В качестве физической модели рассматривается горение в спутном потоке окислителя (воздуха) [2]. Пеногенераторный ствол с радиусом L , по которому поступает горючий пенный поток, выходит по оси камеры реактора, причем на уровне среза ствола радиус камеры равен R .

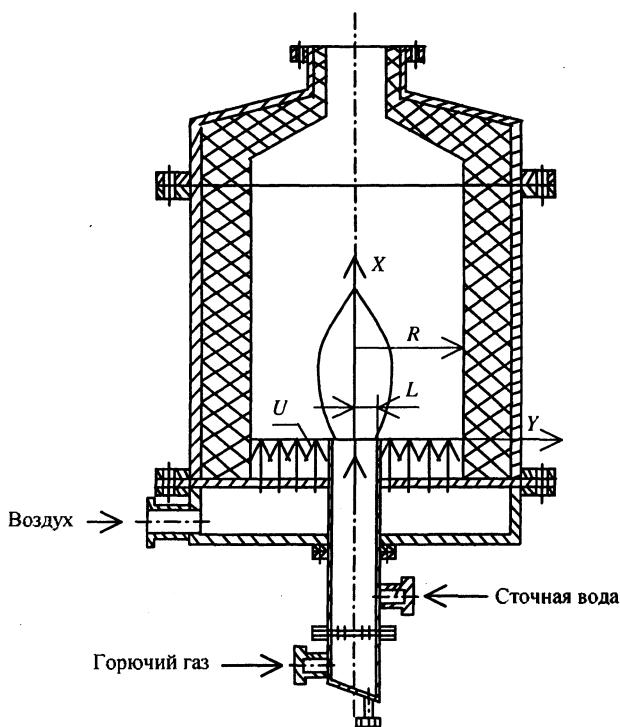


Рис. 1

Воздух на горение поступает в зазор между внешней и внутренней поверхностями футеровки камеры реактора. Скорость пенного потока ограничена минимальным расходом горючего газа для создания необходимого теплового напряжения камеры реактора и минимальным расходом горючего газа, идущего на барботаж, при котором не нарушается режим пенообразования.

Скорость воздуха, играющего роль окислителя, определяется коэффициентом избытка воздуха, и подбиралась она таким образом, чтобы совпадала со скоростью подачи пенного потока. Таким образом, расходы горючего газа, находящегося в пенных ячейках, и воздуха в спутном потоке поддерживались в соотношении

$$L^2 / (R - L)^2.$$

Задача, касающаяся оценки геометрических характеристик реактора, решалась при следующих допущениях:

- скорости течения горючего пенного потока и воздуха в зоне пламени постоянны;
- коэффициенты диффузии постоянны;
- диффузия осуществляется только в радиальном направлении;
- смешение горючих компонентов пенного потока и окислителя происходит только за счет диффузии.

Приведенные выше условия локализуют химическую реакцию в пределах достаточно узкой области. Она занимает положение, в котором скорости горючих компонентов и воздуха обеспечивают получение стехиометрической смеси.

Проведенный расчетно-теоретический анализ фронта пламени на базе классической модели теории распространения пламени показал, что, несмотря на существенное влияние различных факторов, толщина зоны реакции (фронта пламени) остается существенно малой. Так, наличие большого количества паров воды, органических веществ приводит к изменению теплофизических свойств, а это увеличивает толщину фронта пламени в 1,3...1,5 раза. Постановка задачи для расчета геометрических характеристик диффузионного турбулентного пламени сводится к решению уравнения диффузии

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{Y^i} \frac{\partial}{\partial Y} \left[Y^i (D + D_i) \frac{\partial C}{\partial Y} \right], \quad (1)$$

где i – степень при координате; $i = 0$ – при плоском течении; $i = 1$ – при осесимметричном течении.

Вводим безразмерные комплексы:

$$\bar{X} = \frac{x}{L}; \quad \bar{Y} = \frac{Y}{L}; \quad \text{Re} = \frac{uL}{\nu}; \quad \text{Sc} = \frac{\nu}{D}; \quad \text{Sc}_i = \frac{\epsilon}{D_i}; \quad K = \frac{C}{C_1},$$

где L – радиус ствола пеногенераторного реактора (рис. 1); C_1 – начальная концентрация горючих компонентов.

Уравнение (1) перепишем в безразмерном виде

$$\frac{\partial K}{\partial \bar{X}} = \frac{1}{\text{ReSc}} \frac{1}{\bar{Y}^i} \frac{\partial}{\partial \bar{Y}} \left[\bar{Y}^i \left(1 + \frac{\text{Sc} \epsilon}{c_i \nu} \right) \frac{\partial K}{\partial \bar{Y}} \right]. \quad (2)$$

Граничные условия запишутся:

$$\left. \begin{aligned} \bar{X} = 0; \quad 0 < \bar{Y} \leq 1,0; \quad K = C_1 / C_1; \\ 1,0 < \bar{Y} \leq R/L; \quad K = -C_2 / C_1; \\ \bar{Y} = 0; \quad \partial K / \partial \bar{Y} = 0; \\ \bar{Y} = R/L; \quad K = -C_2 / C_1. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для решения (2) и (3) необходимо определить значение турбулентного коэффициента диффузии [3].

Расчет эффективной турбулентной вязкости проводился в соответствии с выражением

$$\varepsilon = K' \left(\frac{D_{\text{ств}}}{d_{\text{яч}}} \right)^n d_{\text{яч}}^{1/3} \rho^{2/3} (m_r \bar{W}_r^2 + m_b \bar{W}_b^2), \quad (4)$$

где K' – эмпирический коэффициент, равный 0,012; $D_{\text{ств}}$ – диаметр пеногенераторного ствола, м; $d_{\text{яч}}$ – диаметр пенной ячейки в исследуемом диапазоне приведенных скоростей, м; n – эмпирический коэффициент, близкий к 1,0 и зависящий от расхода горючего газа и окислителя ($n = 0,85$ при $\bar{W}_n = 0,03$ м/с и $n = 0,95$ при $\bar{W}_n = 0,045$ м/с); ρ – плотность, кг/м³; m_r – массовый расход горючего газа, кг/с; \bar{W}_r – скорость горючего пенного потока, м/с; m_b – массовый расход окислителя, кг/с; \bar{W}_b – скорость окислителя, м/с.

Уравнение (2) с граничными условиями (3) с учетом (4) решалось на ЭВМ. Достоверность численного расчета была проверена по тестовым данным для горения газообразного топлива. Расчет параметров диффузионного турбулентного пламени проводился по изменению концентрации горючих компонентов по высоте факела в его осевом направлении. В качестве горючего контролировался метан как основной компонент городского газа, с которым проводились основные экспериментальные исследования (рис. 2).

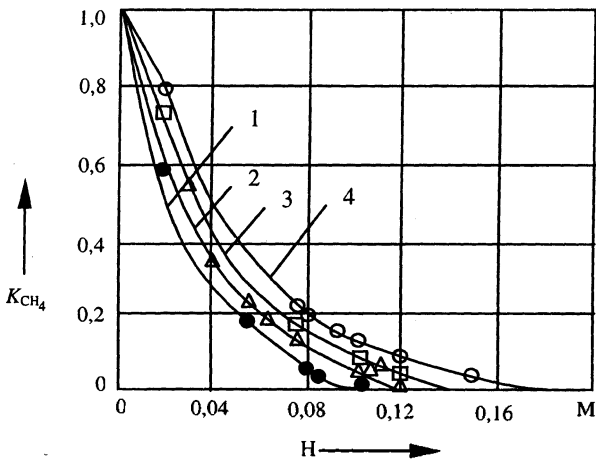


Рис. 2. Зависимость относительной концентрации метана по высоте факела от приведенной скорости горючего пенного потока: 1, 2, 3, 4 – расчет по моделям (2) и (3); ● – эксперимент ($\bar{W}_n = 0,03$ м/с); ▲ – эксперимент ($\bar{W}_n = 0,035$ м/с); ■ – эксперимент ($\bar{W}_n = 0,04$ м/с); ○ – эксперимент ($\bar{W}_n = 0,045$ м/с)

Результаты представлены на рис. 2 для четырех приведенных скоростей горючего пенного потока от 0,03 до 0,045 м/с. Здесь же даны расчетные значения осевой концентрации метана, изменяющейся по высоте факела по моделям (2) и (3).

Расчет параметров факела, а также теоретический и экспериментальный анализ диффузионного турбулентного пламени при горении горючего пенного потока показали: данный процесс отличается от горения природного газа тем, что пенные ячейки при их разрушении создают дополнительную турбулентность, а это влияет и на форму пламени.

Эффективность работы пеногенераторного реактора, как и любого аппарата, основанного на термической обработке сточных вод, определяется степенью обезвреживания токсичных примесей и одновременно полнотой сгорания природного газа, расходуемого на пенообразование [4]. Эффективная работа реактора может быть обеспечена, во-первых, поддержанием температуры в камере реактора на уровне 1000...1300 К, во-вторых, правильно выбранным соотношением между расходами как природного газа и сточных вод, так и газа и окислителя (воздуха).

В ходе испытаний было обнаружено, что режим СУЯП, считавшийся наиболее приемлемым для пенных испарителей, является недостаточно эффективным для пеногенераторных реакторов. Это объясняется тем, что для поддержания необходимой температуры при обезвреживании сточных вод требуется более интенсивная подача пенного потока, например интервалы изменения теплового напряжения в испарителях при СУЯП достигают 7×10^5 кДж/м³, а при динамически устойчивой ячеистой пене ($\bar{W}_n = 0,12 \dots 0,28$ м/с) – 5×10^6 кДж/м³.

На установке для обезвреживания применялись сточные воды заданного состава (эталонная). Обычно испытания велись на водопроводной воде с известными концентрациями ПАВ (не ниже 2,5 г/л) и органических веществ (ацетон, толуол, ксилол и т. д.). При сжигании таких искусственных «сточных вод» в камере реактора наблюдалось изменение цвета пламени с желтого при горении пены без органических веществ до оранжевого при наличии последних.

Экспресс-анализ уходящих дымовых газов с помощью газоанализатора УГ-2 показал, что после обезвреживания эталонных вод, содержащих органические вещества, имеются лишь следы этих компонентов, определяемых точностью газоанализатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 707894 (СССР). Способ термического обезвреживания сточных вод / П. Г. Удыма и др. // Бюл. изобр. – 1980. – № 1.
2. К у м а г о м С. Горение. – М.: Химия, 1979. – 372 с.
3. Г о с м е н А. Д., П а н В. М. и др. Численные методы исследования вязкой жидкости. – М.: Мир, 1972. – 420 с.
4. К о ч е т к о в А. В. и др. Исследование обезвреживания сточных вод в пеногенераторных реакторах // Тр. Моск. энерг. ин-та. – 1982. – Вып. 560. – С. 72–76.

Представлена кафедрой
промышленной теплоэнергетики
и теплотехники

Поступила 28.05.2002