

УДК 622.8.7:502

В.Б. Гого, д-р техн. наук,

Д.Н. Трунов

Донецкий национальный технический университет,

Р.А. Тишин

МакНИИ, г. Мекеевка

ГИДРОМЕХАНИКА ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНО-ВОЛНОВОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Викладена сутність комплексного процесу гідрообезпилювання та кондиціонування повітря на основі імпульсно-хвильового диспергування води.

The essence of the integrated process hydro dedusting and condition air on the basis of pulse-wave dispersion of water described.

Сущность проблемы и ее актуальность обусловлены тем, что развитие национальной горнодобывающей и угольной промышленности требует решения глобальных проблем по обеспечению охраны труда шахтеров, в создании комфортных условий по качеству воздуха производственной среды. Микроклиматическая обстановка технологических зон очистных и проходческих забоев, особенно глубоких шахт, требует кондиционирования воздуха — его очистки от пыли и охлаждения. Для этого наиболее рациональными являются гидродинамические установки, в которых воздух обрабатывается капельной жидкостью. Анализ известных научных работ и технических показателей, действующих на шахтах установок показал, что нерешенным вопросом является оценка конечной температуры воздуха после обработки его потоком капельной жидкости, что является необходимым для разработки эффективных средств гидродинамического кондиционирования воздуха в условиях горных выработок.

Постановка задачи

Определить температуру воздуха, имеющего известные начальные параметры, в результате перемещения через его объем потока капель известных свойств.

Основная часть статьи

Принимаем, что система «газ — капли» адиабатная, а массоперенос между фазами не учитывается.

Рассмотрим теплообмен между газом и одиночной каплей.

Поток теплоты в единицу времени через границу раздела фаз из газа в каплю определим соотношением, вытекающим из закона Рихмана [1]:

$$q = 4\pi R^2 A(T_1 - T_2), \quad (1)$$

где q — поток теплоты; R — радиус капли; A — коэффициент теплоотдачи между фазами; T_1 — начальная температура газа; T_2 — начальная температура жидкости (воды) капли.

Принимаем, что изменение температуры жидкости в капле соответствует сферически — симметричному процессу, т.е.

$$T_2(r) = \frac{3}{4\pi R^3} \int_0^R 4\pi R^2 T_2(r_2, t) dr_2, \quad (2)$$

где $T_2(r_2, t)$ — температура в капле в момент времени t на расстоянии r от ее центра.

Коэффициент теплоотдачи определим по параметрам капли [2]:

$$A = \frac{Nu_2 \lambda_2}{2R}, \quad (3)$$

где Nu_2 , λ_2 — соответственно, число Нуссельта и коэффициент теплопроводности жидкости капли.

В гидро- и термодинамике имеются экспериментальные зависимости числа Нуссельта от чисел Рейнольдса (Re_2) и Прандтля (Pr_2) в зависимости от состояния капли в несущей среде (газа). Применим выражение [1]:

$$Nu_2 = 2 + 0,46 Re_2^{0,55} Pr_2^{0,33};$$

$$(1 < Re_2 < 10^4; \quad 0,6 < Pr_2 < 400),$$

где $Re_2 = \frac{2R(\varrho_2 - \varrho_1)}{\nu^2}$ — число Рейнольдса;

$Pr_2 = \frac{\mu_2 g C_{p2}}{\lambda_2}$ — число Прандтля; μ_2 — динамическая

вязкость жидкости; ν_2 — кинематическая вязкость жидкости.

Используя (1), определим скорость изменения температуры капли:

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{q}{C_2 m_2}, \quad (4)$$

где C_2 — удельная массовая теплоемкость воды; m_2 — масса капли.

Согласно (4) температура газа изменяется по зависимости:

$$T_1 = T_2 + \frac{C_2 m_2}{A} \frac{dT_2}{dt} \quad (5)$$

Принимаем, что до начала взаимодействия температуры газа и жидкости известны. Обозначим в (5) отношение

$$\frac{C_2 m_2}{A} = \tau \text{ — постоянной времени нагрева жидкости капли.}$$

К зависимости (5) применим прямое преобразование Лапласа в виде

$$\tau [pT_2(p) - T_2(0)] + T_2(p) = \frac{1}{p} T_1 \quad (6)$$

при условии, что

$$T_2(0) = T_2, \text{ а } (p) \text{ принимает значения}$$

$$p_1 = 0; p_2 = -\frac{1}{\tau},$$

где p_1 и p_2 — соответственно, полюса, совпадающие с началом системы координат, при прямом (p_1) и обратном (p_2) преобразованиях Лапласа.

Тогда из (6) получим:

$$\tau p T_2(p) + T_2(p) = \frac{1}{p} T_1 + \tau T_2,$$

$$T_2 = \frac{1}{\tau} [T_2(p)(\tau p + 1) - \frac{T_1}{p}],$$

$$T_2(p) = \frac{T_1 + \tau T_2(p)}{p[\tau p + 1]} \quad (7)$$

Применим к (7) обратное преобразование Лапласа, учитывая, что корни знаменателя (7) имеют значения:

$$p_1 = 0. \quad (8)$$

Получим

$$\frac{T_1 + \tau T_2(p)}{p\tau} = T_2 + \frac{T_1}{p\tau} \quad (9)$$

Подставляя в (9) значения (8), имеем

$$(T_1 - T_2)e^{-\alpha} = -\frac{1}{\tau} \cdot \tau = (T_2 - T_1)^{-\alpha} \quad (10)$$

или конечная температура капли

$$T_2(t) = T_1(1 - e^{-\alpha}) + T_2 e^{-\alpha} \quad (11)$$

где $\alpha = \frac{t}{\tau}$ — относительный параметр времени нагрева жидкости капли.

Количество теплоты, полученное каплей в единицу времени:

$$q = C_2 m_2 (T_2(t) - T_2), \quad (12)$$

где $T_2(t)$ — конечная температура нагрева капли, определяемая по (11).

Количество теплоты, полученное всеми каплями потока в единицу времени:

$$Q_s = \frac{M}{m_2} C_2 m_2 [T_2(t) - T_2] = M C_2 [T_2(t) - T_2], \quad (13)$$

где M — массовый расход воды через диспергирующую форсунку, кг/с.

Тепловой поток, отданный воздухом потоку капель, будет равен:

$$Q = m_1 C_1 (T_1 - \theta), \quad (14)$$

где m_1 — массовый расход воздуха; C_1 — удельная массовая теплоемкость воздуха; T_1 — начальная температура воздуха; θ — конечная температура воздуха.

На основе закона сохранения энергии приравняем (13) и (14), откуда найдем конечную температуру воздуха θ , т.е.

$$M C_2 [T_2(t) - T_2] = m_1 C_1 (T_1 - \theta);$$

$$\theta = T_1 - \frac{M C_2}{m_1 C_1} [T_2(t) - T_2]. \quad (15)$$

Учитывая (11), запишем (15) в виде:

$$\theta = T_1 - \frac{M C_2}{m_1 C_1} [T_1(1 - e^{-\alpha}) + T_2 e^{-\alpha} - T_2]. \quad (16)$$

Таким образом, конечная температура воздуха в процессе его взаимодействия с каплями в течение одной секунды, может быть определена по зависимости (11) при условии:

$$t = 1, \quad \alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{A}{C_2 m_2},$$

где A — коэффициент теплоотдачи, определяемый по (3).

Выводы

Проведенный расчет конечной температуры воздуха по зависимости (16) показал, что при начальной температуре воздуха 20°С и начальной температуре воды 18°С, диспергируемой на капли коническими форсунками, температура воздуха снижается в среднем на 1,6°С.

Литература

1. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена. — М.: Атомиздат, 1979. — 415 с.
2. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. — М.: Энергоатомиздат, 1981. — 417 с.

Надійшла 16.06.2010 р.