

**МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
В ВИДЕ ГОРЮЧИХ КОМПОЗИЦИЙ В ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ**

А.А. Каренгин, И.Ю. Новоселов

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: karengin@tpu.ru

**KINETIC MODEL FOR DROPLET EVAPORATION OF DISPERSED WATER SOLVENTS IN FORM
OF FLAMMABLE COMPOSITIONS IN AIR-PLASMA FLOW**

A.A. Karengin, I.Yu. Novoselov

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD A.G. Karengin

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: karengin@tpu.ru

***Abstract.** The kinetic model for droplet evaporation in air-plasma flow has been developed. The influence patterns of initial air-plasma flow and droplets values, and initial mass ratio of liquid and gaseous phases on kinetics of droplet evaporation of dispersed aqueous-organic compositions in air-plasma flow have been established. It is shown that for aqueous-organic compositions having adiabatic combustion temperature not less than 1200°C the stage of solvent (water) evaporation is the limiting stage of the whole process in air-plasma flow.*

Традиционно используемые способы для промышленного производства порошков (пигментов) из водных растворов солей или суспензий многостадийны, требуют значительных энерго- и трудозатрат, часто экологически небезопасны. Плазмохимическая технология одностадийного получения порошков из диспергированных водно-солевых растворов металлов обладает рядом преимуществ: высокой скоростью процесса в плазмохимическом реакторе, меньшей энергоёмкостью, возможностью получения гомогенного распределения компонентов и заданного состава во всем объеме порошка, возможностью активно влиять на морфологию частиц [1]. Многообразие и сложность процессов, протекающих в плазмохимическом реакторе, их малоизученность, отсутствие надежных экспериментальных методов диагностики высокотемпературных двухфазных потоков требует разнообразных подходов к исследованию этих процессов [2]. В настоящее время такие исследования целесообразно проводить с применением методов математического моделирования.

Высокотемпературный поток, несущий в реакторе капли водно-органических композиций можно условно разделить на несколько зон (рисунок 1). В зоне (0-1) происходит перемешивание потока и разогрев до температуры испарения капель, в зоне (1-2) капли подвергаются динамическому испарению, в зоне (2-3) происходит образование и нагрев солевого остатка до температуры разложения, в зоне (3-4) солевой остаток разлагается на газообразные и твердые продукты.

Проведенные сравнительные оценки показывают, что при температурах 1500 К и выше лимитирующим процессом является стадия (1-2) испарения растворителя.

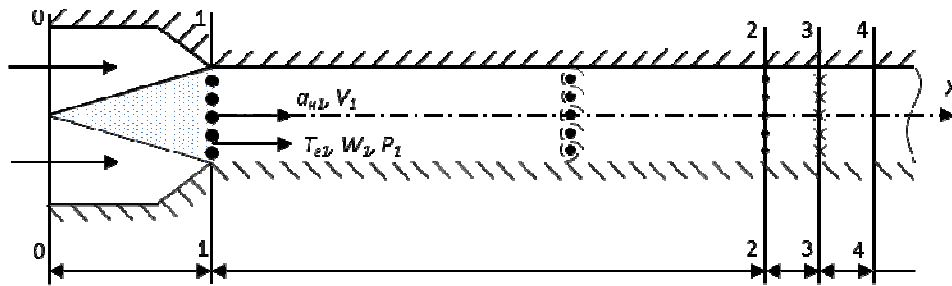


Рис. 1. Схема реактора, в котором реализуется процесс плазменной обработки диспергированных горючих водно-органических композиций

Для описания рассматриваемого физического процесса разработана математическая модель, описывающая кинетику испарения капель диспергированных водно-органических композиций в воздушном плазменном потоке. Были приняты следующие допущения: плазменный реактор – это реактор идеального вытеснения; рассматриваемые процессы квазистационарные; течение воздушно-плазменного потока адиабатное; капли монодисперсные, не взаимодействующие между собой и со стенками реактора; в потоке не происходит химических реакций между воздушно-плазменным теплоносителем и водяным паром.

Использованы следующие уравнения, описывающие одномерное двухфазное течение по длине зоны испарения реактора:

- уравнение, описывающее испарение капли в условиях, когда скорость испарения определяется подводом тепла:

$$\frac{dm_k}{d\tau} = -\pi Nu^* \frac{\lambda_s (T_g - T_p)}{\Delta H^*} \alpha_k; \quad (1)$$

- уравнение движения капли

$$m_k \frac{dV}{d\tau} = \frac{\pi}{8} C_d^* \rho_g \alpha_k^2 |W - V| (W - V); \quad (2)$$

- скорость движения капли

$$\frac{dx}{d\tau} = V; \quad (3)$$

- закон испарения капли

$$z_n = 1 - \left(\frac{\alpha_k}{\alpha_{k1}} \right)^3 \frac{\rho_q}{\rho_{q1}}; \quad (4)$$

- закон сохранения расхода двухфазной смеси

$$\frac{d}{d\tau} (W \rho F + m_q) = 0; \quad (5)$$

- закон сохранения импульса смеси

$$\frac{d}{d\tau} (mW + m_q B + PF) = P \frac{dF}{d\tau}, \quad (6)$$

- закон сохранения энергии двухфазной смеси

$$\frac{d}{d\tau} \left[m \left(I_s + \frac{W^2}{2} \right) + m_q \left(I_q + \frac{V^2}{2} \right) + m_s \Delta H^* \right] = 0; \quad (7)$$

- уравнение состояния парогазовой смеси

$$\frac{P}{\rho} = \frac{RT}{\mu(T)}. \quad (8)$$

В уравнениях (1-8) использованы следующие обозначения: r_g и r_n – массовые доли газа и пара; τ – время; W и V – скорости газа и капель; T_{z1} – начальная температура воздушного потока; P – давление; ρ – плотность; F – площадь поперечного сечения реактора; H – энтальпия; μ – молекулярный вес; λ – коэффициент теплопроводности; η – коэффициент динамической вязкости; C_p и C_v – теплоемкости при постоянном давлении и объеме; α_k – размер капель; m – масса; Для параметров использовались индексы g – жидкость, z – газ, n – пар, k – капля; s – смесь газа и пара, цифра 1 – для начальных значений.

Расчеты проведены для следующих начальных параметров: диаметр капель $\alpha_{kl} = (40-100)$ мкм; скорость капель $V_1 = (10-100)$ м/с; скорость потока $W_1 = (10-90)$ м/с; температура потока $T_{z1} = (2000-4000)$ К; массовое отношение жидкой и газовой фаз $\beta = (0,1-1,5)$; давление $P_1 = 0,1$ МПа.

Анализ зависимостей от времени рассматриваемых процессов показывает, что испарение капель протекает неравномерно во времени и по длине зоны испарения реактора. Испарение основной массы капель и значительное понижение температуры плазменного потока происходит в начале реактора.

В результате проведенного исследования с применением разработанной математической модели установлены закономерности влияния начальных значений характеристик воздушно-плазменного потока (температура, скорость) и капель (размер, скорость), исходного массового отношения жидкой и газовой фаз на кинетику испарения диспергированных водно-органических композиций в воздушно-плазменном потоке. Показано, что исходное массовое отношение жидкой и газовой фаз β оказывает очень сильное влияние на скорость испарения капель в воздушно-плазменном потоке. Превышение $\beta > \beta^*$ приводит к резкому охлаждению воздушно-плазменного потока и значительному увеличению времени и длины зоны полного испарения капель в реакторе. Очень важно для заданной начальной температуры воздушно-плазменного потока подобрать такое предельное массовое отношение жидкой и газовой фаз β^* , которое обеспечит в конце испарения капель в реакторе конечную температуру воздушно-плазменного потока $T_{кон} \approx 1500$ К.

Снижение начального размера капель (от 100 мкм до 40 мкм) и начальной скорости воздушно-плазменного потока (от 90 м/с до 10 м/с) приводит при $\beta = \beta^*$ к существенному уменьшению длины зоны полного испарения капель в реакторе соответственно в 5–6 раз и 4–5 раз. При этом увеличение начальной температуры воздушно-плазменного потока от 2000 К до 4000 К не оказывает при $\beta = \beta^*$ существенного влияния на длину зоны полного испарения капель в реакторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. - 760 с.
2. Тихомиров И.А., Каренгин А.Г., Квеско С.Б. // Физика и химия обработки материалов - 1984, - № 5. - С. 42-46.