

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ

Перемешивание взаимодействующих сред - важный фактор технологии в металлургии, химии и других областях. В предлагаемой модели вихревые образования представлены двумя масштабами: упорядоченными турбулентными структурами (УТС) и стохастической турбулентностью. Размер и скорость вихревых образований, а значит, и их переносные свойства определяются рассеиваемой ими мощностью и эффективной вязкостью среды, в которой они существуют. На этом основан контроль каскадного процесса диссипации энергии "снизу" (колмогоровский микромасштаб). Здесь на той же основе предложено контролировать процесс "сверху" - через параметры динамического состояния УТС: $\nu_T \sim L_C^{4/3} \varepsilon_T^{1/3}$, где ν_T - турбулентная вязкость; L_C - характерный размер УТС; ε_T - удельная мощность турбулентной диссипации.

В ограниченном объёме технологического реактора: а) размеры УТС лимитируются размерами реактора, б) УТС рассеивают мощность, которая может быть определена как мощность внешних перемешивающих воздействий. Отсюда получены формулы влияния удельной мощности перемешивания ($P_{\text{ПЕР}}$) и характерного размера УТС (L_C) на интегральные показатели интенсивности перемешивания, как функций энергетического аналога числа Рейнольдса: $Re_p = (P_{\text{ПЕР}} L_C)^{1/3} L_C / \nu$, где ν - кинематическая вязкость. Кроме интерпретации $Re_p = W_C L_C / \nu$, где W_C - характеристическая скорость УТС, число Re_p можно рассматривать как отношение эффективной вязкости к молекулярной, число $Re_p^{3/4}$ - как отношение внешнего масштаба турбулентности (L_C) к внутреннему (колмогоровскому), а число Re_p^3 - как отношение мощности $P_{\text{ПЕР}}$ к некоторой минимальной (критической) мощности, при которой УТС становится ламинарным циркуляционным образованием.

Рассмотрены известные результаты экспериментов на физических моделях металлургических агрегатов. Показана адекватность предложенной теоретической модели и возможность, с её помощью, автоматического представления экспериментальных данных, в том числе для геометрически не подобных систем. Получено выражение взаимосвязи энергетического и динамического чисел Рейнольдса для турбулентного течения в шероховатых трубах: $Re_p = (\lambda/2)^{1/3} (L_C/d)^{4/3} Re$, где λ - коэффициент сопротивления; d - внутренний диаметр трубы. Это позволило, например, режиму движения жидкости в модели металлургического ковша ($Re_p = 2600-12000$) поставить в соответствие - по состоянию УТС - режим движения в шероховатых трубах в диапазоне чисел $Re = 8400-38600$.