



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТУРБУЛЕНТНЫХ МГД-ТЕЧЕНИЙ ПРИ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В ТРУБАХ

Макаров Максим Валентинович
научный сотрудник

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

В 2011 г. появились публикации результатов экспериментов, в которых были впервые обнаружены аномально высокие квазипериодические пульсации температуры ртути при смешанной турбулентной конвекции в горизонтальной и вертикальной трубах при воздействии поперечного магнитного поля. В настоящее время существует несколько десятков как экспериментальных, так и расчетных (методом DNS) работ по данной теме. Однако, отсутствуют данные о влиянии физических свойств стенки и контактного электрического сопротивления на внутренней поверхности трубы на структуру течения и температурные пульсации внутри жидкости и стенки.

Целью данной работы является детальный анализ влияния физических свойств стенки трубы, электрического контактного сопротивления на её внутренней поверхности, тепловой нагрузки, индукции внешнего поперечного магнитного поля на структуру потока, теплообмен, пульсационные характеристики при течении жидкого металла в режиме смешанной турбулентной конвекции.

По итогам данной работы:

1. Впервые с помощью вихреразрешающего метода LES в сопряженной со стенкой трубы постановке при наличии или отсутствии контактного электрического сопротивления «жидкость-стенка» исследованы структура течения жидкого металла, возникновение и развитие аномально высоких пульсаций температуры в режимах:

- горизонтального течения в стальной трубе, обогреваемой снизу, при числах подобия $Re = 10^4$, $Gr = 4,4 \cdot 10^7$, $Na = 0 - 1000$, $k_r = 0 - \infty$;

- опускного течения в односторонне обогреваемой вертикальной стальной трубе при числах подобия $Re = 10^4$, $Gr = (6 - 12) \cdot 10^7$, $Na = 0 - 1000$; $k_r = 0 - \infty$.

2. Полученные результаты и их сравнение с экспериментальными данными свидетельствуют о необходимости расчета опускного течения в обогреваемой трубе в сопряженной со стенкой постановке для получения корректных пульсаций температуры жидкости в пристеночной области и стенке.

3. Показано существенное влияние контактного электрического сопротивления пленки загрязнений на устойчивость течения и возникновение аномально высоких пульсаций температуры и скорости. Так при отсутствии контактного сопротивления в режимах $Re = 10^4$, $Na = 300$ как для горизонтальной трубы ($Gr = 4,4 \cdot 10^7$), так и вертикальной ($Gr = 6 \cdot 10^7$), аномально высокие пульсации температуры, полученные экспериментально и методом DNS, не возникают.

4. Результаты расчетов при опускном МГД-течении в вертикальной трубе выявили наличие в неустойчивых режимах аномально высоких низкочастотных пульсаций приложенного перепада



давления, необходимого для прокачки ртути через рабочий участок трубы с заданным постоянным расходом.

5. Предложена формула для вычисления параметра A , позволяющего предсказать возникновение возвратного течения у обогреваемой поверхности стенки при опускном течении в вертикальной трубе и воздействии поперечного магнитного поля.

6. Показано, что карта режимов для вертикальной трубы, основанная на результатах экспериментальных работ, не описывает область неустойчивости при малых и нулевых значениях контактного электрического сопротивления. Построение универсальной карты режимов как для вертикальной, так и горизонтальной труб осложнено необходимостью учета контактного сопротивления.