

УДК 536.25

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ КОНВЕКЦИИ В ЦИЛИНДРЕ БОЛЬШОГО УДЛИНЕНИЯ ОТ ЧИСЛА РЭЛЕЯ

Хорошев А. С.

АО «Институт по проектированию и исследовательским работам в нефтяной промышленности «Гипровостокнефть», г. Самара

Рассмотрена интенсивность конвективного движения при граничных условиях: скорость на стенке равна нулю, торцы теплоизолированные, на стенках поддерживается температура $T_w(z) = T_0 - \gamma z$, где γ – градиент температуры в направлении продольной оси (оси z), T_0 – температура основания цилиндра, l – высота цилиндра, d – диаметр цилиндра, $h = l/d$ – удлинение цилиндра, объем замкнутый [1-2].

На рисунке 1 представлены графики зависимости среднего по сечению значения модуля вертикальной составляющей вектора скорости $|V_z|_{сеч}^{сред} = \frac{4}{\pi \cdot d^2} \int_{S_{xy}} |V_z| dx dy$ от безразмерной координаты z/l для воды и дегазированной нефти при разных значениях чисел Рэлея. Отметим, во-первых, что отсутствуют принципиальные различия в зависимостях для воды и дегазированной нефти. Во-вторых, видно, что для чисел Рэлея от 4039 до 12116 при z/l от 0,2 до 0,8 скорость изменяется слабо. Средняя скорость $|V_z|_{сеч}^{сред}$ не совсем постоянна, но амплитуда колебания $A1/2$ невелика по сравнению с максимальным значением. Для чисел Рэлея от 13000 до 40000 амплитуда $A2/2$ колебания значений $|V_z|_{сеч}^{сред}$ намного выше.

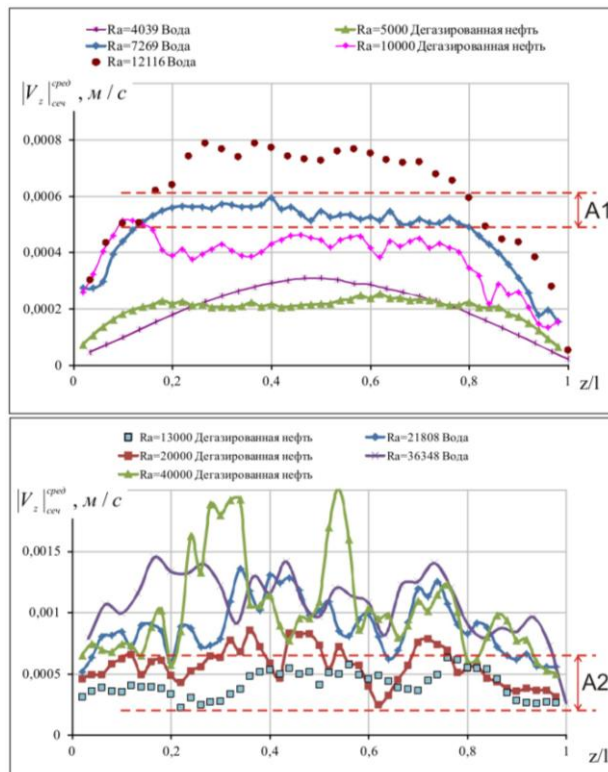


Рис. 1. Зависимость среднего по сечению значения модуля вертикальной составляющей вектора скорости $|V_z|_{сеч}^{сред}$ от относительной координаты цилиндра z/l

На рисунке 2 представлен график зависимости $\overline{|V_z|_{об}^{сред}} = \frac{1}{u_r} \frac{5}{3} \int_{0,2}^{0,8} |V_z|_{сеч}^{сред} d\left(\frac{z}{l}\right)$ от числа Рэлея. Масштаб скорости: $u_r = \left(\frac{Q_0}{\rho c_p} \cdot \frac{g}{\gamma}\right)^{1/3}$ [3], где Q_0 – среднее значение модуля теплового потока через боковую стенку, вычисленная средствами постпроцессора Ansys CFX.

Для рассмотренных чисел Рэлея можно выделить три типа конвективного движения. При $Ra_{c1}=3100$ происходит переход от первого типа ко второму (что хорошо согласуется с результатами, полученными другими исследователями [4-6]). Точка перехода от второго типа движения к третьему $Ra_{c2}=12000$. Как видно из рис. 2, полученные в результате моделирования значения $\overline{|V_z|_{об}^{сред}}$ хорошо «ложатся» на одну кривую для жидкостей с разным Pr .

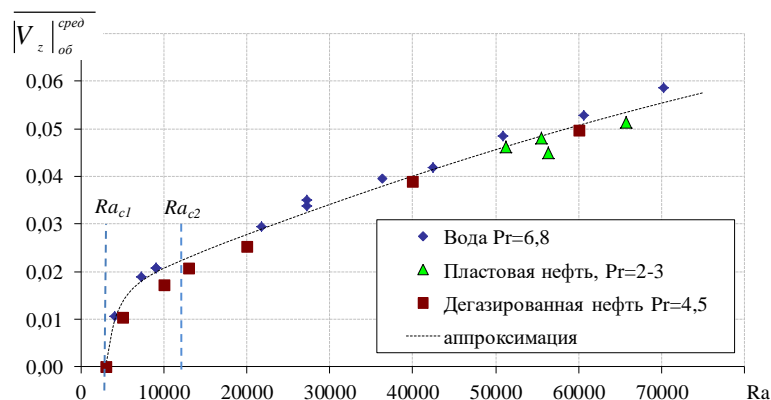


Рис. 2. Зависимость безразмерного среднего по объему значения модуля вертикальной составляющей вектора скорости $\overline{|V_z|_{об}^{сред}}$ от числа Рэлея

Зависимость, представленная на рис. 3, может быть аппроксимирована формулой:

$$\overline{|V_z|_{об}^{сред}} = 0,012 + 7,73 \cdot 10^{-7} Ra - 2,29 \cdot 10^{-12} Ra^2 + \frac{34,11}{Ra} - \frac{2,31 \cdot 10^5}{Ra^2}.$$

Библиографический список

1. Хорошев А.С., Шахов В.Г. Моделирование ламинарного свободно-конвективного течения в длинном вертикальном цилиндре // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. т.13, №4, С. 72-76.
2. Хорошев А.С. Интенсивность свободно-конвективного течения в вертикальном цилиндре при постоянном вертикальном градиенте температуры на боковой поверхности // «Научное обозрение», 2014. №5 С. 74-80.
3. Arya S.P.S. Free convection similarity and measurements in flows with and without shear. Journal of the Atmospheric Sciences, 1972, vol. 29, P. 877-885.
4. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости / Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1972. – 392 с.
4. F. Heslot, B. Castaing, A. Libchaber, Transitions to turbulence in helium gas, Phys. Rev. A 36 (1987) 5870–5873.
5. S. Schneider, J. Straub, Laminar natural convection in a cylindrical enclosure with different end temperatures, Int. J. Heat Mass Transfer 35 (1992) 545–557.