

Конвективный эффект удвоения волнового числа в жидкостном слое с неоднородной пористой средой¹

Колчанов Н.В.^{*}, Колчанова Е.А.^{**}

^{*}Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

^{**}Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Пористые материалы распространены в природе, промышленности, энергетике и других сферах жизни человека. Искусственные пористые среды, в сравнение с естественными, легче просчитать: вычислить основные характеристики; смоделировать поведение течений жидкости. Ряд работ, посвящённых изучению конвекции в двух и трёхслойных пористых системах [1-3], показали возможность контролируемой генерации течений в форме валов различных размеров. От размера конвективного вала зависит величина теплового потока. Если вал охватывает всю систему слоёв, то тепловой поток будет максимальным. Другие исследования [4, 5] двухслойных систем с жидкостью и неоднородной, убывающей или возрастающей от границы раздела слоёв, пористостью обнаружили возможность генерации колебаний и нерегулярных пульсаций теплового потока, возникающих в жидкости с ростом перепада температур между внешними границами двухслойной системы.

В работе исследуется конвекция в двухслойной системе, образующейся в слое воды после заполнения стеклянными сферами части слоя. В верхней части системы остаётся незаполненный слой жидкости, толщина которого в 6.25 раза тоньше пористого слоя. Система находится в поле силы тяжести, направление которой перпендикулярно слоям системы и совпадает с направлением градиента температуры. Пористость зоны со стеклянными сферами растёт с глубиной по линейному закону. Вблизи верхней границы пористой зоны она имеет значение 0.5, а вблизи нижней – 0.7. Проницаемость пористой среды рассчитывается по формуле Кармана-Козени. При выводе уравнений конвекции в приближении Бусинеска используется модель Дарси для описания фильтрации жидкости в пористой среде.

Увеличение градиента температуры приводит к разрушению механически равновесного состояния жидкости и в системе возникают стационарные конвективные течения,

охватывающие оба слоя. С ростом числа Рэлея (Ra) эти течения становятся неустойчивыми из-за генерации дополнительных валиков сначала в верхнем тонком слое жидкости, а затем и в пористой зоне вблизи нижней горячей границы системы. Дополнительные валики неустойчивы и с течением времени их формирование происходит колебательным или нерегулярным образом. Как следствие, тепловой поток сквозь систему может пульсировать с амплитудой, составляющей около 20-40% от среднего значения. Такие высокоамплитудные пульсации теплового потока наблюдаются до $r = 7.25-7.75$, где r – это относительное число Рэлея. При этих значениях r наблюдается скачок среднего значения теплового потока и десятикратное уменьшение амплитуды пульсаций. По данным поля скорости можно сделать вывод, что скачок теплового потока связан с разрушением крупномасштабного конвективного вихря, охватывающего все слои, и дальнейшим формированием двух вихрей, так же охватывающих оба слоя системы, но в два раза меньших по размеру вдоль продольного направления.

Список литературы:

- [1] Chen F., Chen C. F. Convection in superposed fluid and porous layers // *Journal of Fluid Mechanics*. 1992. Vol. 234. P. 97–119.
- [2] Kolchanova E., Lyubimov D., Lyubimova T. The onset and nonlinear regimes of convection in a two-layer system of fluid and porous medium saturated by the fluid // *Transport in Porous Media*. 2013. Vol. 97. P. 25–42.
- [3] Lyubimova T. P., Muratov I. D. Interaction of the longwave and finite-wavelength instability modes of convection in a horizontal fluid layer confined between two fluid-saturated porous layers // *Fluids*. 2017. Vol. 2. fluids2030039.
- [4] Kolchanova E. A., Kolchanov N. V. Nonlinear convection regimes in superposed fluid and porous layers under vertical vibrations: Positive porosity gradients // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018. Vol. 121. P. 37–45.
- [5] Kolchanova E. A., Kolchanov N. V. Nonlinear convection regimes in superposed fluid and porous layers under vertical vibrations: Negative porosity gradients // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018. Vol. 127. P. 438–449.

¹ Работа выполнялась при финансовой поддержке Правительства Пермского края (Программа поддержки Научных школ Пермского края, грант № С-26/788)