

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВИБРАЦИЙ НА КОНВЕКЦИЮ БИНАРНОЙ СМЕСИ В ЯЧЕЙКЕ ХЕЛЕ-ШОУ

И. Э. Карпунин, И. А. Бабушкин

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

Изучению тепловой конвекции в ячейке Хеле-Шоу посвящено множество теоретических и экспериментальных работ. Например, влияние соотношения сторон рабочих полостей на конвективное течение рассматривалось в работе [1]. Влияние различных осложняющих факторов (вибрации, действие центробежных сил) рассматривалось в работах [2, 3]. Большое количество работ посвящено также конвекции бинарных жидкостей, в том числе при наличии модуляции поля тяжести [4].

В настоящей работе рассмотрено влияние вертикальных вибраций на поведение бинарной смеси с отрицательным коэффициентом $Соре$ в плоском вертикальном слое с размерами 20x2x40 мм. В качестве рабочей жидкости был выбран 10 % водный раствор этилового спирта. Эксперименты проводились при подогреве с низу с фиксированной разностью температур на слое $\Delta T_{сл}$ в каждом сеансе.

Первой задачей было исследование режимов конвективных течений в отсутствие визуализирующих частиц и без вибрационного воздействия. О структуре течения косвенно можно было судить по искажению температурного поля в полости, которое фиксировалось двумя медь-константановыми термопарами. Были найдены: порог механического равновесия и границы конвективных режимов.

Было показано, что добавление светорассеивающих частиц из кополиамида с массовой долей 0,5 % в два раза повышает порог устойчивости механического равновесия, увеличивает границы устойчивости конвективных течений, при этом понижет их интенсивность. На рисунке 1 представлены структуры конвективных течений при различных перепадах температур на слое жидкости. Как видно, картина течения в целом подобна режимам однокомпонентной жидкости. Влияние бинарной смеси наблюдается только при малых значениях перепада температур, когда подъемное течение прижимается в лево и около $\frac{3}{4}$ ширины полости занимает опускное течение. Это объясняется тем, что при отрицательном коэффициенте $Соре$ элементы жидкости смещаются в область больших температур, что приводит к асимметрии течения. С увеличением разности температур на слое объемно-массовые силы играют более существенную роль и наблюдается одноваликовое течение с наклоном в сторону движения жидкости (как в случае однокомпонентной жидкости). Увеличение разности температур между теплообменниками приводит к возникновению в правом нижнем углу второго вала, а затем к трехваликовому течению. При установившемся режиме наблю-

далось периодическое увеличение угловых вихрей, что приводило к колебаниям среднего значения сигнальных термопар (рис. 2).

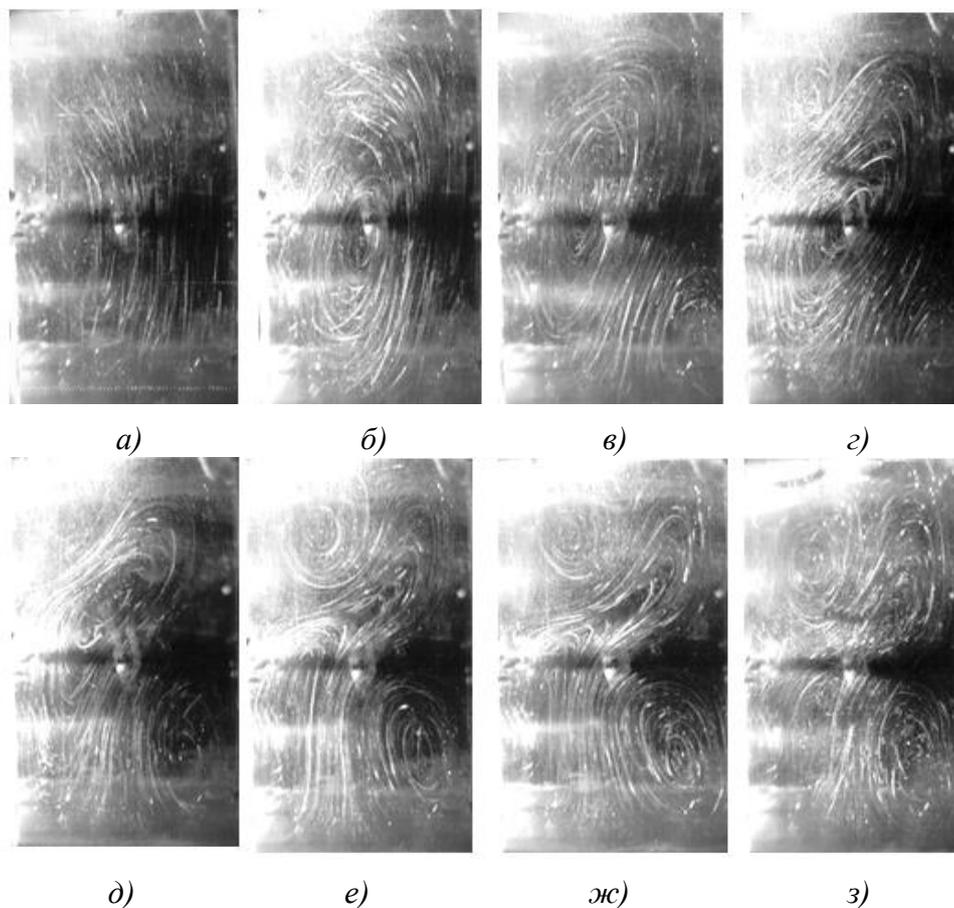


Рис. 1. Конвективные течения, установившиеся в рабочей полости, при ΔT_{cl} : а) $1,8^{\circ}\text{C}$, б) 3°C , в) $3,5^{\circ}\text{C}$, г) $4,1^{\circ}\text{C}$, д) 5°C , е) 6°C , ж) $7,3^{\circ}\text{C}$, з) $8,1^{\circ}\text{C}$

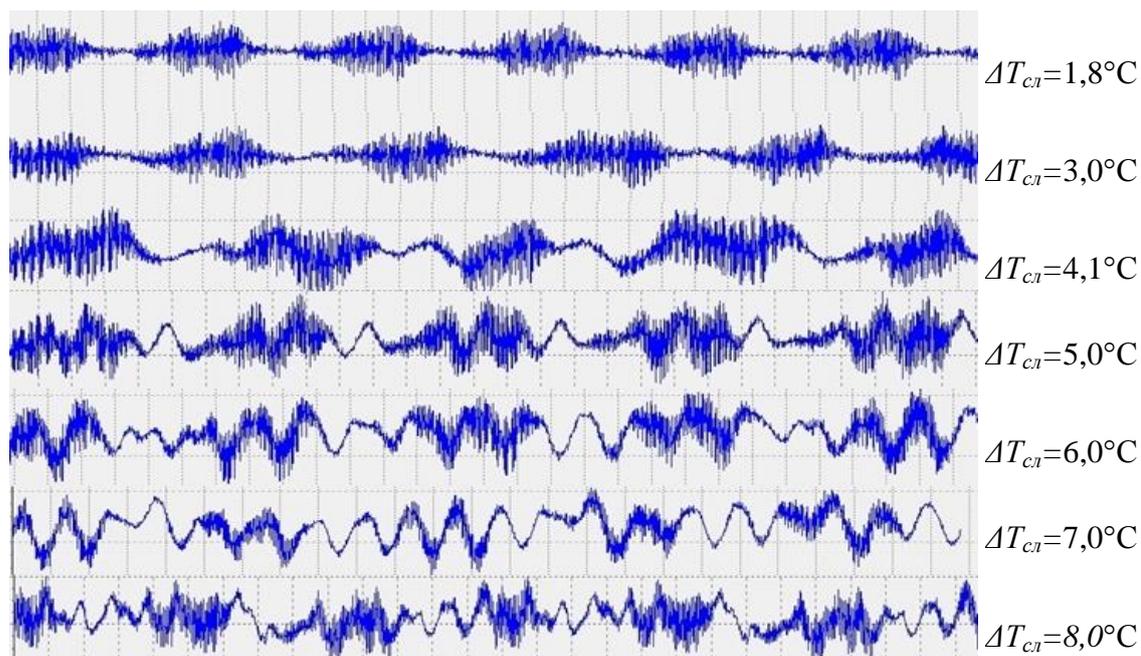


Рис. 2. Термограммы центральной термопары $\Delta T_{ц}$

Перезамыкания вихрей не обнаружено. На рис. 2 представлены термограммы термопары, один спай которой находится в центре рабочей полости, а другой на средней горизонтальной линии на расстоянии 2 мм от левой стенки. По оси ординат отложена величина сигнала в градусах Цельсия, по оси абсцисс время. Но для различных значений ΔT_{cl} термограммы представлены в разных масштабах. Видно, что при любых перепадах температуры на слое жидкости кроме колебаний среднего (ΔT_{cl} от $4,1^\circ\text{C}$ и выше) наблюдаются также пульсации температурного поля, которые не проявляются в случае однокомпонентной жидкости. При больших перепадах температуры эти пульсации накладываются на колебания среднего значения сигнала. Данные пульсации температурного поля присутствуют как при наличии визуализирующих частиц так и при их отсутствии. При этом исследования показали, что наличие визуализирующих частиц уменьшает амплитуду и период пульсаций.

Вертикальные вибрации с частотой 3,7 Гц и амплитудой 60 мм также приводят к увеличению порогов механического равновесия и конвективных течений. Но в отличии от предыдущих рассмотренных случаев нарушение механического равновесия происходит двухваликовым режимом. Одноваликового режима обнаружено не было. Вертикальные вибрации как и добавление визуализирующих частиц приводят к уменьшению интенсивности пульсаций температурного поля.

Список литературы

1. Любимов Д. В., Путин Г. Ф., Чернатынский В. И. О конвективных движениях в ячейке Хеле-Шоу // Доклады АН СССР. 1977. Т. 235. № 3. С. 554–557.
2. Бабушкин И. А., Демин В. А. Вибрационная конвекция в ячейке Хеле-Шоу. Теория и эксперимент // Прикладная механика и техническая физика. 2006. Т. 47. № 2. С. 40–48.
3. Бабушкин И. А., Демин В. А., Кондрашов А. Н., Пепеляев Д. В. Тепловая конвекция в ячейке Хеле-Шоу при действии центробежных сил // Изв. РАН. Механика жидкости и газа, 2012, № 1, С. 14–25.
4. Мызникова Б. И., Смородин Б. Л. Волновые режимы конвекции бинарной смеси при модуляции поля тяжести // ЖЭТФ. 2011. Т. 139. Вып. 3. С. 597–604.