

ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В СЛОЕ ЖИДКОСТИ С ВОЛНОВЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ФОРМЫ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ

Федюшкин А.И.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, 119526, Москва

Рассматривается тепло- и массоперенос несжимаемой жидкости (воды) в слое $0 \leq x \leq 2\pi$, $0 \leq y \leq 1 - \varepsilon \sin(t - x)$, ограниченном твердыми стенками: с верхней, изменяющейся по закону $y = 1 - \varepsilon \sin(t - x)$ и тремя прямыми неизменяемыми стенками (рис 1). На всех границах принято условие непроницаемости и условие прилипания. В работе рассматривается две задачи для слоя воды с волновым изменением формы верхней границы: первая - это задача о теплопереносе в слое воды при подогреве снизу и вторая - это задача о массопереносе твердых частиц, с их периодическим источником на центральной вертикальной линии $x = \pi$. Период изменения верхней границы $T = 2\pi$ секунд и частота ε . Ускорение силы тяжести не учитывается (невесомость, $g=0$).

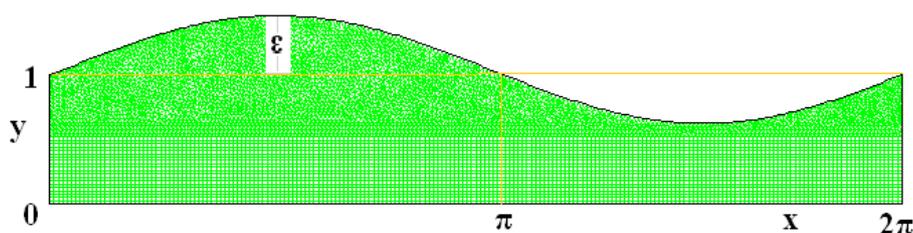


Рис 1.Схема расчетной области и сетка.

Численное моделирование основано на решении двумерных уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости и переноса тепла. Для моделирования невесомых твердых частиц использовались лагранжевые переменные. Использовался метод контрольный объемов с динамической сеткой. На период приходилось не менее 500 временных шагов.

На рис. 2. показаны изотермы при одинаковом подогреве слоя снизу, на стационаре без движения верхней стенки, и при движении верхней стенки с отклонением от горизонтальной поверхности (полуамплитудами) $\varepsilon = 0.1, 0.2$ и 0.3 м на квазистационаре (и при одинаковом положении верхней стенки). Из приведенных результатов видно влияние амплитуды колебания верхней стенки при вынужденной конвекции на теплоперенос в условиях невесомости.

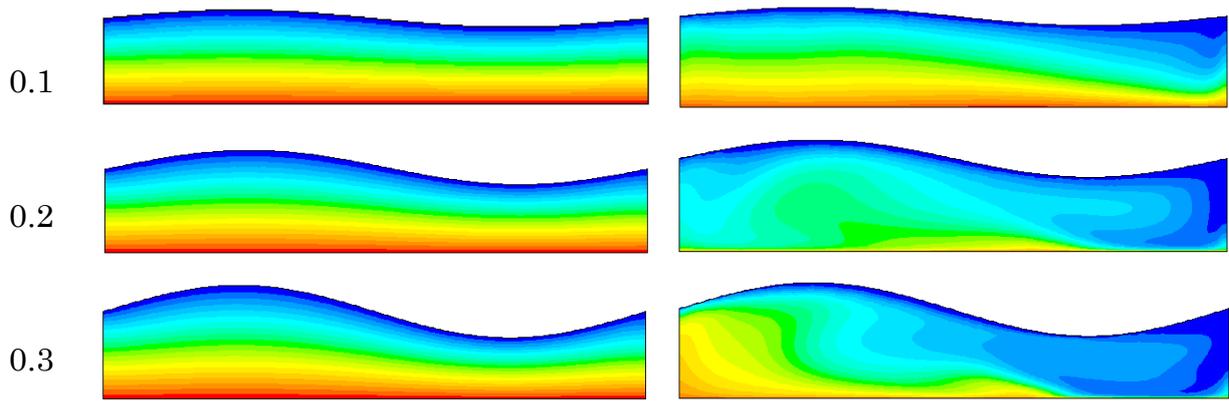
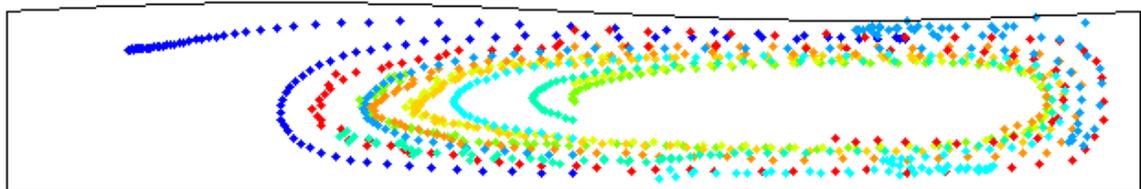
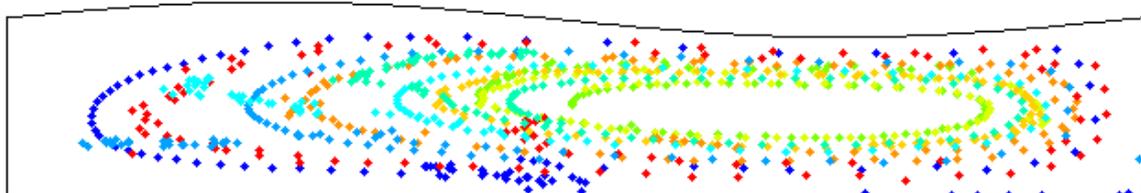


Рис. 2. Изотермы при подогреве слоя снизу, первый столбец – значение амплитуды ε [м], второй - изотермы без движения верхней стенки, третий столбец – изотермы при движении верхней стенки.

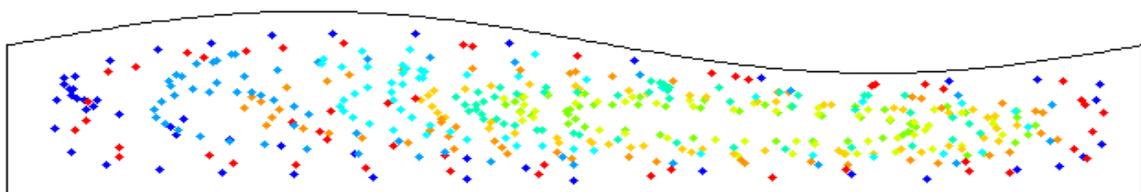
Вторая задача относится к изотермическому случаю с инъекцией на линии $x = \pi$ каждые $T = 2\pi$ секунд невесомых частиц с нулевыми начальными скоростями. После нескольких десятков периодов становятся видны треки частиц. На рис. 2 показаны распределения частиц (цветом окрашены разные частицы) при разных $\varepsilon = 0.05 - 0.4$ м для разных моментов времени. Результаты показывают, что при увеличении ε частицы перемешиваются за меньшее время.



a) ($\varepsilon = 0.05$; $t = 100T$)



b). ($\varepsilon = 0.1$; $t = 100T$)



c). ($\varepsilon = 0.2$; $t = 50T$)

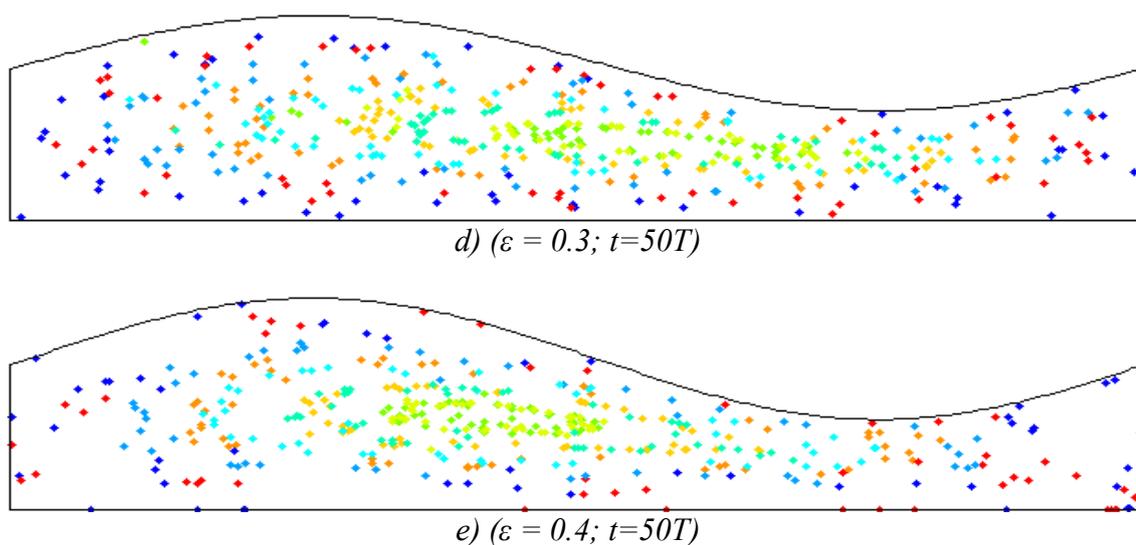


Рис.3. Распределение частиц при разных ε в разные моменты времени.

Выводы

Показано влияние вынужденной конвекции на характер теплопереноса в невесомости.

При инъекции частиц при небольших значениях $\varepsilon < 0.1$ м происходит лишь незначительное перемешивание жидкости, увлекающее частицы, то есть их перемешивание практически не происходит. Пути частичек представляют собой почти замкнутые кривые. Однако при $\varepsilon > 0.2$ м траектории частиц пересекаются и трудно проследить пути каждой частички, то есть перемешивание жидкости идет гораздо интенсивнее. Особенно это заметно для частичек, находящихся ближе к краям области.

Сравнение времен перемешивания, полученных аналитически в тонком деформируемом слое [1], с результатами данного численного моделирования показало хорошее согласие.

Литература

1. Д.М. Климов, А.Г. Петров, Д.В.Георгиевский. Вязкопластические течения. Динамический хаос, устойчивость, перемешивание. Изд. «Наука», Москва 2005.