

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОНВЕКТИВНЫХ ПОТОКОВ

А.Н. Сухановский, к.ф.-м.н.

*Институт механики сплошных сред УрО РАН (Пермь).*

### Введение.

В настоящее время при проведении численных исследований часто используются различные коммерческие вычислительные пакеты. Одним из таких пакетов является российский программный комплекс [FlowVision](#). Программный комплекс FlowVision решает трехмерные уравнения динамики жидкости и газа, которые включают в себя законы сохранения массы, импульса (уравнения Навье-Стокса), уравнения состояния. Однако надо понимать, что применение программных комплексов для проведения исследований различных гидродинамических процессов требует анализа границ их применимости и проведения сравнения результатов численных расчетов и экспериментов.

В данной работе представлены примеры численных расчетов конвективных течений в неподвижном и вращающемся слоях жидкости в двухмерном и трехмерном случаях при помощи программного комплекса FlowVision. Проведено качественное сравнение результатов численных расчетов и экспериментов.

### Результаты

В качестве первой задачи для проведения численного моделирования в пакете FlowVision была выбрано исследование адвективного течения в прямоугольной кювете со ступенчатым перепадом температуры, экспериментально изученного в [1].

Лабораторная модель представляет собой прямоугольную кювету, с размерами 205x100x80 мм<sup>3</sup>. Дно кюветы состоит из двух одинаковых теплообменников, теплоизолированных друг от друга слоем пенопласта толщиной 3мм. Теплообменники представляют собой медные пластины 100x100x20 мм<sup>3</sup>, внутри которых имеются каналы для циркуляции жидкости от термостатов. В качестве рабочей жидкости в модели использовалось чистое трансформаторное масло. Формирование адвективного течения начинается вблизи границы разделяющей теплообменники. С ростом перепада температуры и высоты адвективное течение усиливается и занимает весь объем.

Формирование адвективного течения и развитие вторичных определяется в первую очередь распределением температуры, измерение которого в эксперименте представляет собой трудную задачу. Поэтому получение полей температуры в результате численного исследования дает возможность получить новые результаты. Поля температуры в двумерном случае, для различных перепадов температуры  $\Delta T$  и толщин слоя  $h$  показаны на рис.1.

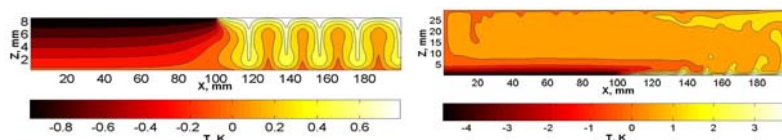


Рис.1. Поле температуры в вертикальном сечении, в двумерной постановке, слева –  $\Delta T=2$  К,  $h=10$ мм, справа -  $\Delta T=10$  К,  $h=30$ мм.

В случае малого  $\Delta T$  в левой части на достаточном удалении от границы теплообменников наблюдается устойчивая стратификация, в правой части хорошо видно формирование конвективных валов. Структура течения хорошо согласуется с результатами эксперимента [1]. С ростом  $h$  и  $\Delta T$  адвективное течение занимает всю полость, при этом в нижней части слоя, над горячим теплообменником формируются вторичные течения, в эксперименте продольные, в двумерном расчете – поперечные валы (рис.1,справа).

Следующий шаг численное исследование данного течения в трехмерной постановке. На рис.2. показаны поля температуры в вертикальном сечении для численной и экспериментальной реализаций. Надо отметить, что в эксперименте было получено осредненное по времени поле температуры, в численном расчете – мгновенное, это объясняет его значительную пространственную неоднородность.

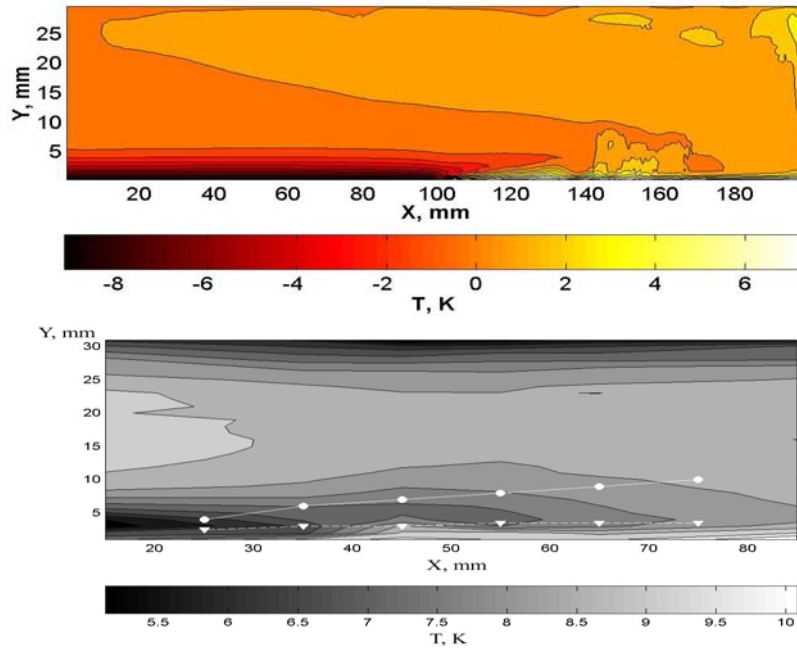


Рис.2. Вверху - поле температуры в вертикальном сечении в трехмерной постановке для  $\Delta T=20$  К, внизу экспериментальные измерения (осредненные) для  $\Delta T=26.8$  К,  $h=30$  мм.

На рис.3. показаны поля температуры в горизонтальном сечении, хорошо видно формирование продольных конвективных валов как в расчете, так и в эксперименте.

В качестве второй задачи, рассмотрено формирование интенсивного циклонического вихря над локализованным источником тепла во вращающемся слое жидкости. Задача экспериментально исследована в [2] и [3]. На рис.4. показаны распределения температуры в эксперименте при слабом нагреве ( $P=7$  Вт) и в расчете для  $P=25$  Вт. Кольцевые структуры на левом рисунке визуализируют сбегающиеся к центру конвективные валы, которые затем начинают разбиваться на радиальные, что хорошо качественно согласуется с расчетом (справа). Шаг расчетной сетки в области нагрева составлял 3 мм, что приводило к некоторому сглаживанию поля температуры. На рис.5. показаны вертикальные сечения азимутальной компоненты скорости в расчете и эксперименте для близких параметров – мощности нагрева, геометрических размеров, физических свойств жидкости, граничных условий. Видно хорошее качественное согласие, наблюдаемые количественные отличия могут быть обусловлены недостаточным сеточным разрешением, а также упрощенными граничными условиями на верхней границе.

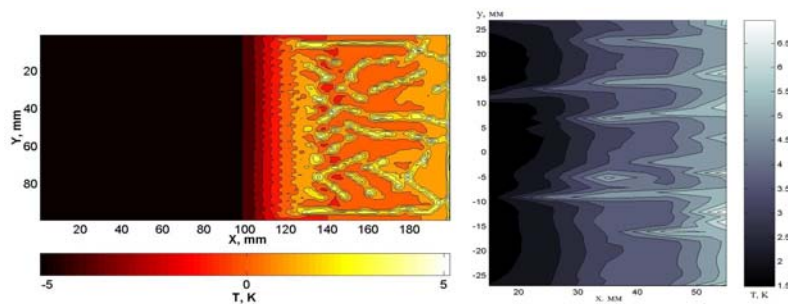


Рис.3. Слева - поле температуры в горизонтальном сечении в трехмерной постановке для  $\Delta T=20$  К, на высоте 3 мм; справа - экспериментальные измерения (осредненные) для  $\Delta T=26.8$  К, на высоте 3 мм, над горячим теплообменником ( $X=0$  мм справа соответствует  $X=100$  мм на левом рисунке).

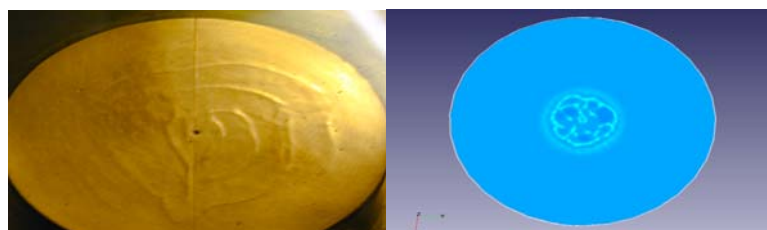


Рис.4. Слева – рефракционная картина, визуализирующая распределение градиентов температуры в температурном пограничном слое над нагревателем, мощность нагрева  $P=7$  Вт; справа расчетное поле температуры на высоте 2 мм в горизонтальном сечении для  $P=25$  Вт.

В качестве заключения можно сделать вывод о адекватном моделировании конвективных течений при помощи программного комплекса [FlowVision](#), при условии проведения предварительных тестов и физически корректной постановки задачи.

Автор благодарен компании «Тесис» и лично Александру Щеляеву за предоставленную возможность работы с программным комплексом FlowVision.  
Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ-07-01-92160-НЦНИ).

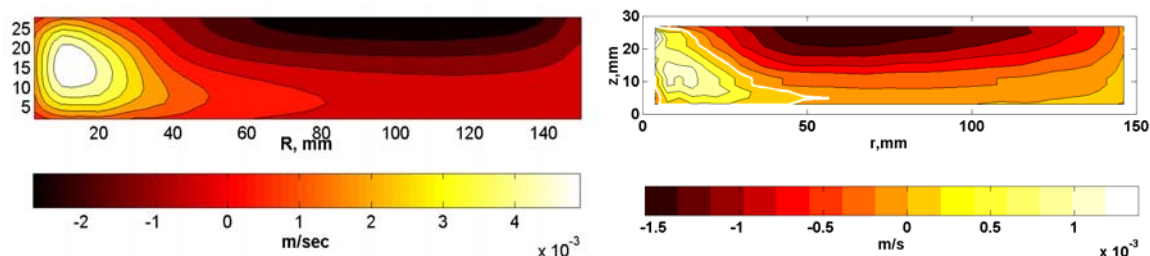


Рис.5. Распределение азимутальной скорости в вертикальном сечении, слева – расчетное поле (осредненное по азимутальной координате), справа экспериментальные измерения (осредненные по времени и азимутальной координате) для  $P=25$  Вт.

1. В.Г. Баталов, А.Н. Сухановский, П.Г. Фрик. Экспериментальное исследование спиральных валов в адвективном потоке, натекающем на горячую горизонтальную поверхность. Известия РАН. Механика жидкости и газа. №4. 2007. С. 50-60.
2. Г.П. Богатырев, И.В. Колесниченко, Г.В. Левина, А.Н. Сухановский. Лабораторная модель процесса образования крупномасштабного спирального вихря в конвективно-неустойчивой вращающейся жидкости // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006, том 42, №4, с. 1-7.
3. Laboratory study of differential rotation in a convective rotating layer. Vladimir Batalov, Andrey Sukhanovsky, Peter Frick. (в печати).