

УДК 532.5.031

Исследование закрученных конвективных потоков с образованием
крупномасштабных вихревых структур

Кузнецов А.А.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Помимо технических приложений, закрученные течения широко распространены в природе. Как правило, природные атмосферные, или океанические течения вызваны конвекцией при неравномерном нагреве среды в гравитационном поле. Во многих случаях пересечение конвективных потоков сопровождается образованием крупномасштабных вихревых структур, размер которых сравним с характерным размером течений. В пример можно привести такие природные явления, как атмосферные циклоны, торнадо, океанические вихри. Интересен факт, что подобные упорядоченные вихри образуются в слоях смешения струй, без начальной закрутки.

Целью работы является исследование закрученных тепловых воздушных потоков в вихревой камере с изменяемой геометрией. Экспериментальная установка состоит из вертикально-ориентированной трубы, закрепленной на лопаточном завихрителе с изменяемым углом вхождения лопаток, в центре завихрителя находится емкость с глицерином, и погруженным в него испарителем. Испаритель представляет собой металлическое кольцо, подключенное к электрогенератору. Смешиваясь с ижектируемым потоком холодного воздуха из атмосферы, пары глицерина конденсируются, и это позволяет наблюдать всю картину течения.

Для теоретического описания течения применялась модель прямолинейного вихря с ядром конечного размера, в предположении что вихрь имеет винтовую симметрию. Для нахождения поля скоростей решались уравнение Эйлера и уравнение неразрывности в цилиндрических координатах, с осью противоположно направленной ускорению свободного падения. Характерная скорость потока порядка 50 см/с, характерные размеры течения порядка 10 см, отсюда число Рейнольдса порядка 3000, что позволяет пренебречь вязкостью, а предположение о винтовой симметрии позволяет свести задачу к двумерной и решить аналитически.

Интенсивность вихря обычно характеризуется циркуляцией Γ . В данной модели циркуляция по любому контуру, опоясывающему ядро вихря постоянна, следовательно, она зависит от расхода и угла вхождения лопаток завихрителя, что и подтверждается экспериментом. При увеличении угла вхождения лопаток видно увеличение концентрации завихренности вблизи оси, а также уменьшение диаметра ядра. Также, в данной модели

минимум давления пропорционален квадрату циркуляции, и достигается он на оси вихря. Это проявляется в увеличении скорости испарения глицерина и, как следствие, густоты наблюдаемого пара при увеличении угла вхождения лопаток.

Эксперимент показал, что при малых расходах отчётливо наблюдается ядро вихря с постоянной угловой скоростью вращения относительно оси, а также локализацией осевой скорости в ядре, что говорит о близости выбранной теоретической модели и реального явления. Однако, при увеличении расхода течение теряет устойчивость с образованием тороидального вихря вблизи дна, в плоскости ортогональной оси. Стоит отметить, что в дальнейшем картина течения не меняется, однако, вблизи дна, в центре тороидального вихря, осевая скорость меняет направление на противоположное, т.е. направлена вниз. Ввиду этого можно сделать предположение, что и вдоль всей оси осевая скорость направлена вниз и быстро уменьшается с расстоянием от оси.

Диафрагмирование в целом оказывает положительное влияние на устойчивость вихря, предположительно из-за уменьшения радиуса ядра и большей концентрацией завихренности при уменьшении выходного отверстия. Радиальный градиент температур также оказывает стабилизирующее и раскручивающее влияние в следствие кориолисовых сил. Тёплые слои воздуха, из-за радиального градиента давления, стремятся к центру, откуда возникает кориолисово ускорение, раскручивающее поток.

Литература

1. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Т. 6. Гидродинамика. – ФИЗМАТЛИТ, 2006 – 736 с.
2. *Алексеев С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л.* Введение в теорию концентрированных вихрей. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2003. – 504с