

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД КД И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР

В.Ю. Белашов¹, О.А. Харшиладзе²

¹*К(П)ФУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com*

²*ТГУ, г. Тбилиси, Грузия, oleg.kharshiladze@gmail.com*

Представлена модификация известного метода контурной динамики (КД), использующегося для моделирования эволюции и динамики взаимодействия вихревых структур – вихревых областей конечной площади (ВОКП, в английской терминологии – FAVR's или V-states), а также примеры некоторых результатов моделирования такого рода процессов в плазме, атмосфере и гидросфере, полученных с помощью модифицированного метода КД.

Метод КД для решения подобных задач является наиболее предпочтительным с точки зрения минимизации временных затрат и, кроме прочего, обладает рядом дополнительных преимуществ, например, отсутствием искусственных диффузии и диссипации, которые появляются при численном решении с помощью конечно-разностных сеток, кроме того представление среды в виде отдельных ВОКП, между которыми происходит взаимодействие, исключает необходимость рассматривать всё пространство, в котором находятся вихри, а также вычислять значения скоростей и завихренностей внутри этих областей (как в методе дискретных вихрей), что существенно ускоряет процесс моделирования. Выполненная модификация направлена на минимизацию погрешностей, связанных с «разрывом» контуров и погрешностью метода «с перешагиванием», с помощью которого вычисляется временная эволюция ВОКП. Модификация стандартного алгоритма метода КД позволяет также, наряду с эволюцией отдельных ВОКП, эффективно изучать эволюцию и динамику взаимодействия N -вихревых систем различных пространственных конфигураций, состоящих из ВОКП, в зависимости от пространственного расположения, порядка симметрии, величины и знака завихренности отдельных вихревых образований.

Было выполнено большое число серий численных экспериментов по изучению двухвихревого взаимодействия, взаимодействия N -вихревых систем, включая взаимодействие между вихревыми структурами и пылевыми частицами в плазме, а также взаимодействие 3-мерных плоско вращающихся вихревых структур в рамках плоскостной модели среды.

Исследовались приложения полученных результатов к динамике вихревых структур в атмосфере, гидросфере и плазме, в частности: задача динамики эволюции синоптических и океанических вихрей циклонального типа, которые могут рассматриваться, как фронт завихренности, взаимодействие вихре-пылевых систем, а также динамика заряженных нитей, представляющих собой потоки заряженных частиц в однородном магнитном поле в рамках 2-мерной модели плазмы Тэйлора-Макнамара.

Результаты численных экспериментов позволяют заключить, что модифицированный метод КД является весьма эффективным при исследовании вихревых явлений, наблюдаемых в средах, где присутствуют локальные вихревые области, между которыми происходит взаимодействие. Получаемые в численных экспериментах результаты, наряду с их очевидной значимостью для адекватной интерпретации эффектов, связанных с турбулентными процессами в газах и жидкостях (в частности, вихревых движений в атмосфере Земли с учетом кориолисовых сил), могут быть также полезны при описании турбулентных процессов в плазме (например, при описании плазмы непрерывной моделью или моделью кулоновски взаимодействующих квазичастиц и заряженных "нитей"), а также при изучении динамики альфвеновских вихрей в ионосферной и магнитосферной плазме.