

Алексеев М.С., Алексеев А.С.

Моделирование свойств анизотропности и изотропности турбулентных течений методом воспроизведения вихревой структуры, используя разные формы вихрей

В статье "Сравнение методов моделирования турбулентных течений" [1] говорится о некоторых возможных и используемых методах моделирования турбулентности. В настоящей статье мы рассмотрим некоторые результаты моделирования турбулентного поля скорости использующего вихревую структуру.

Вихревая структура течения, воспроизводимая моделью, представляет собой совокупность вихрей разного масштаба равномерно распределенных по турбулентной полосе (вихри сдвинуты друг относительно друга случайным образом). При таком способе моделирования турбулентного поля учитывается вихревая структура поля и ориентация вихрей в пространстве, а значит, позволяет строить гипотезы о реальной структуре турбулентности. В целом, результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными, приведенными в [2, 3]: наклон изотропной области составляет " $-5/3$ " и высокочастотная область диссипации с наклоном порядка " -4 "; при этом граница перехода настраивается путем регулирования параметров моделирования (минимальным масштабом вихрей). В настоящей статье рассмотрим несколько вариантов форм вихрей: круговой и эллиптически вытянутый, имеющий ориентацию вдоль или поперек движения датчика.

Проведя моделирование турбулентного возмущения, используя в модели только круговые вихри, т.е. исследуя абсолютно изотропное поле [4], мы получили графики спектров мощности случайного процесса в проекциях на координатные оси. На рисунке 1 изображены совмещенные (продольные и поперечные проекции) спектры мощности сигнала.

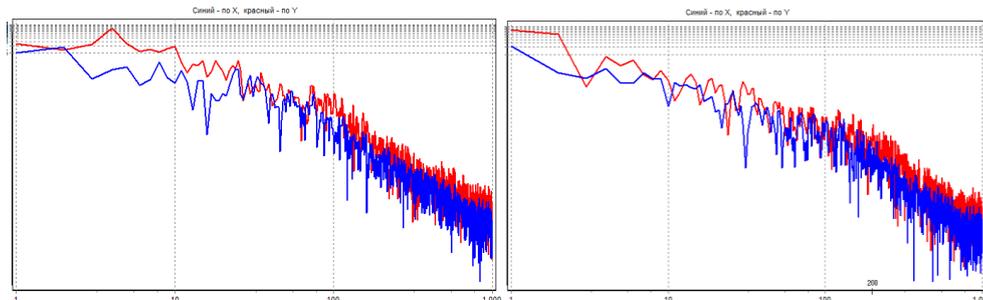


Рисунок 1 – Спектр мощности сигнала, моделируемого при помощи круговых вихрей

Как видно, в изотропном поле имеет место преобладание поперечной составляющей на всех частотах спектра. Связано это с тем, что при движении имитируемого датчика по турбулентной полосе продольная составляющая имеет (в среднем) меньшую амплитуду. Этот эффект наиболее наглядно можно продемонстрировать на рисунке 2, изображающим продольную и поперечную проекции вектора скорости на примере отдельно взятого вихря при условии, что датчик проходит точно по центру этого вихря.



Рисунок 2 – Продольная и поперечная составляющие вектора скорости, измеренного при прохождении датчиком отдельно взятого кругового вихря по центру

Поперечная составляющая демонстрирует фактически закон изменения скорости внутри вихря от границы к центру и далее от центра к границе, а продольная всюду равна нулю. А поскольку каждый вихрь вносит свой "вклад" в суммарную мощность, то за счет подобных ситуаций поперечный спектр получается выше продольного.

Указанный эффект становится более заметным при моделировании турбулентного поля с преимущественной продольной ориентацией вихрей. В случае, когда вихри вытянуты вдоль оси движения датчика получаются спектры мощности, на которых преобладание поперечной составляющей преобладает на высоких частотах и значительно меньше на низких частотах (рисунок 3).

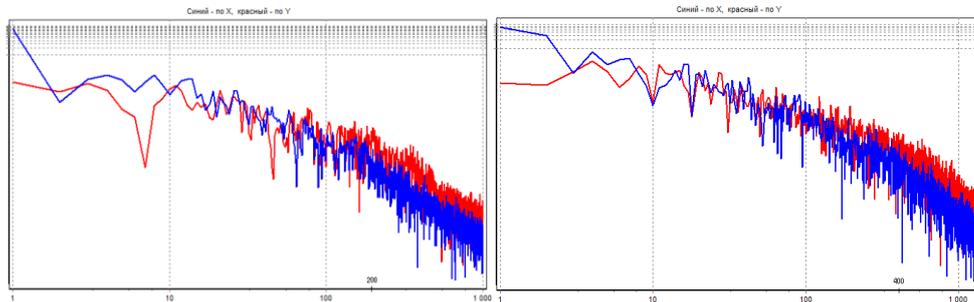


Рисунок 3 – Спектр мощности сигнала, моделируемого при помощи вытянутых в направлении движения датчика вихрей

Рисунком 4 отчетливо иллюстрируются причины этого феномена. На нем видно, что каждый вихрь вносит большой вклад в продольную составляющую на низких частотах и большой вклад в поперечную составляющую на высоких частотах.



Рисунок 4 – Продольная и поперечная составляющие вектора скорости, измеренного при прохождении датчиком отдельно вихря, ориентированного вдоль движения датчика

Для поперечных вихрей имеет место значительное преобладание поперечной составляющей над продольной (рисунок 5) в силу того факта, что когда траектория движения датчика попадает на центральную область вытянутого поперек вихря продольная составляющая равна нулю (как в случае с круговым, когда датчик проходит по центральной оси).

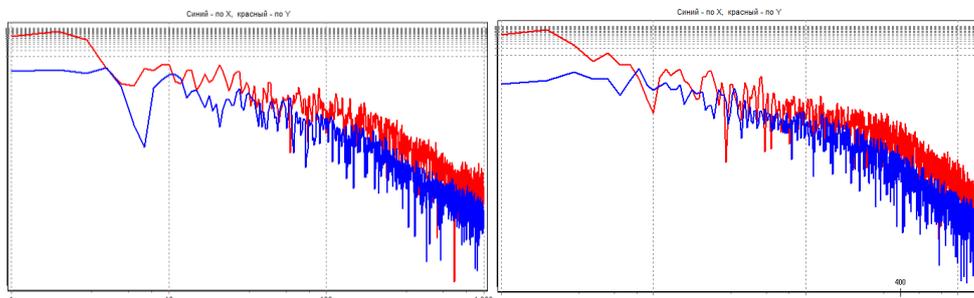


Рисунок 5 – Спектр мощности сигнала, моделируемого при помощи вытянутых поперек движения датчика вихрей

Таким образом, мы видим, что спектр мощности моделируемого сигнала зависит не только от структуры моделируемого течения, но и от направления движения датчика скорости.

Библиографический список

1. *Алексеев М.С., Лаврентьева Ю.И., Федоров С.Ф.* Сравнение методов моделирования турбулентных течений // Молодежь. Техника. Космос: труды II Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.: 2010 – с. 19-21
2. *Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л.* Лекции по теоретическим методам исследования турбулентности. – М.: Изд-во МФТИ, 2005. – 197 с.
3. *Фриш У.* Турбулентность. Наследие Колмогорова. – М.: ФАЗИС, 1998. – 346 с.
4. *Davidson L.* An introduction to turbulence models. – Göteborg: Chalmers Un-ty of Technology, 2003. – 48 p.