# Метод синтетических вихрей (SEM)

Метод основан на конвективном переносе через трехмерную область сгенерированных в случайных местах области со случайными интенсивностями вихрей. При этом задается функция распределения пульсаций скорости в окрестностях центров вихрей.

## Исходные данные

1. Координаты множества точек трехмерного пространства, на которых необходимо вычислить синтетическое поле турбулентных пульсаций: .
2. Линейный масштаб .
3. Тензор напряжений Рейнольдса .
4. Поле осредненной скорости .

## Алгоритм метода

1. Определяется область в виде прямоугольного параллелепипеда B, на которой будут генерироваться вихри:

Где



Рис. Область генерации вихрей

1. Определяется значение характерной скорости:
2. Определяется количество вихрей: .
3. Для каждого вихря генерируется случайная позиция . При этом – случайная величина с равномерным распределением на промежутке .
4. Для каждого вихря генерируется случайная интенсивность . При этом – случайная величина с равномерным распределением на промежутке .
5. Определяется разложение Холецкого тензора напряжений Рейнольдса:
6. Определяются значения пульсаций:

Где – функция формы, представляющая собой распределение скорости в единичной флуктуации с центром в .Определяется следующим образом:

Где

1. Находится суммарная скорость:
2. Расчет повторяется для следующего шага по времени с пересчитанным положением вихрей:

Где – временной шаг. Если вихрь выходит за пределы параллелепипеда B, то он восстанавливается в случайной точке грани, противоположной той, через которую он вышел, с новым случайным вектором интенсивности

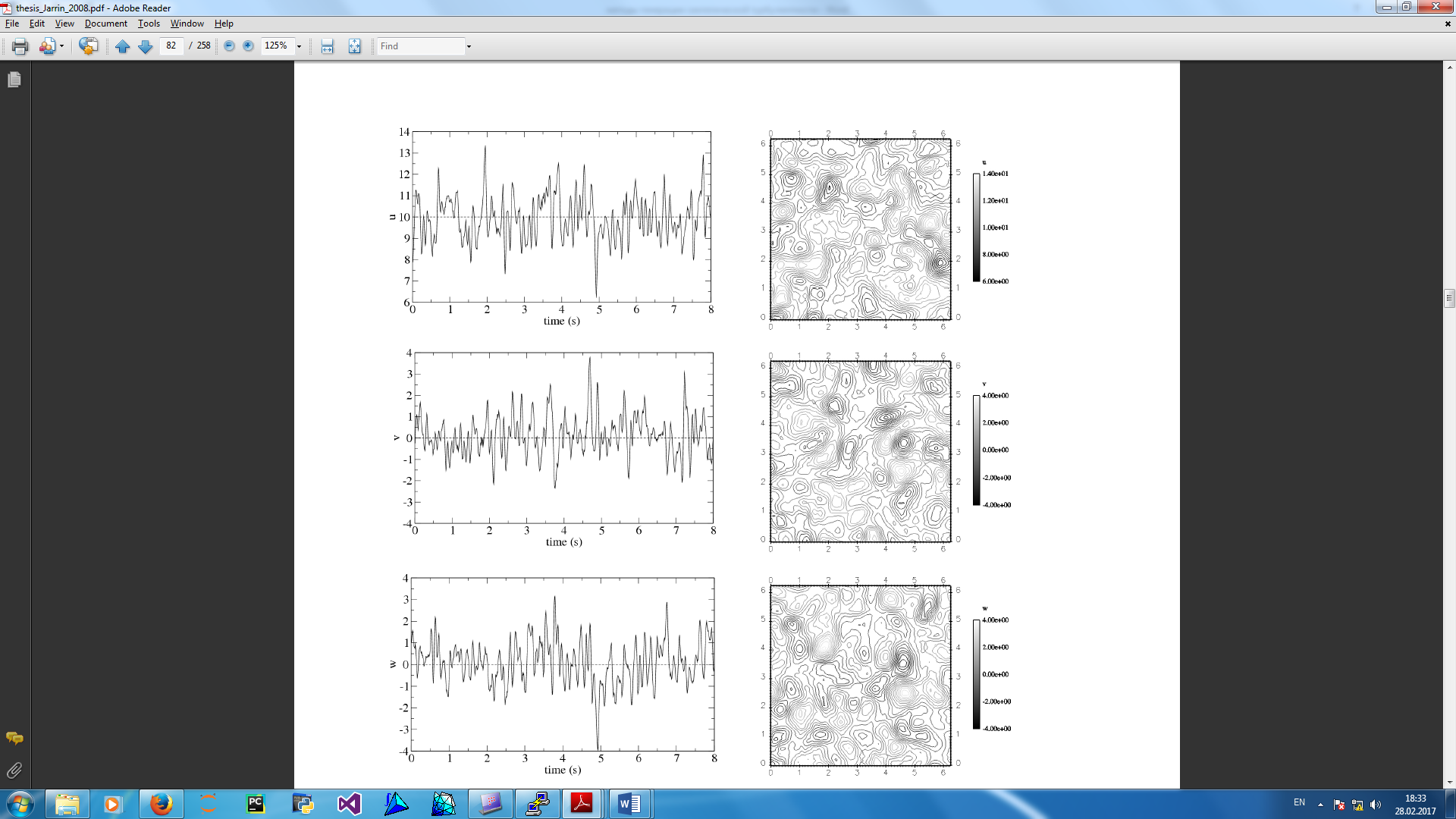


Рис. Изменение во времени компонентов скорости двумерного поля изотропной турбулентности, сгенерированного с помощью SEM [1]



Рис. Сравнение синтетических полей компонент скорости, полученных с применением SEM, с аналогичными полями, полученными методом “рециклинга”. [Master\_2009\_Adamian\_SEM.pdf]



Рис. Сравнение распределений коэффициента трения по длине канала, полученных в результате расчетов с применением SEM и с применением “рециклинга”. [Master\_2009\_Adamian\_SEM.pdf]

## Определение линейного масштаба

Линейный масштаб определяется следующим способом:

Где – линейный масштаб турбулентности, – постоянная Кармана, – линейный масштаб течения (толщина пограничного слоя), – максимальный шаг сетки в рассматриваемой точке.

## Бездивергентная модификация метода (DF-SEM)

Отличие бездивергентной модификации данного метода состоит в другом способе определения пульсаций скорости.

Сначала определяются пульсации в локальных системах координат, в которых тензор напряжений Рейнольдса диагональный:

Где , – функция формы,  **–** вектор интенсивности, определяемый также, как было показано выше.

Функция формы выражается следующим образом:

Где .

Таким образом, пульсации выражаются следующим образом:

Где – символ Леви-Чивиты, используемый для выражения векторного произведения.

Далее пульсации скорости пересчитываются в глобальной системе координат:

Где – матрица перехода от локальной к глобальной системе координат (состоит из трех собственных векторов тензора напряжений Рейнольдса); и – пульсации скорости в глобальной и локальной системах координат соответственно; (в случае, если линейный масштаб неодинаков в различных направлениях ).



Рис. Поля скорости, полученные применением методов DF-SEM, SEM и “рициклинга” [2]

# Спектральные методы

Спектральные методы основаны на представлении поля пульсаций в виде суммы конечного числа мод Фурье. Ниже представлена разновидность спектрального метода, предложенная в [1].

## Исходные данные

1. Координаты узлов сетки: . Индексы узлов: .
2. Поле средней скорости , известное из RANS решения.
3. Значения элементов тензора напряжений Рейнольдса для каждого узла: , также известные из RANS решения.
4. Скорость диссипации кинетической энергии , известная из RANS решения.
5. Линейный масштаб модели турбулентности , используемой в RANS решении.
6. Молекулярная вязкость .
7. Характерная скорость во входном сечении .

## Алгоритм

1. Для каждого узла сетки определить минимально разрешаемую длину волны:

где – локальные шаги сетки, , расстояние от узла до стенки.

1. Найти для каждого узла максимально разрешаемое волновое число:
2. Для каждого узла определить размер наиболее энергонесущих вихрей синтетической турбулентности:

Где – эмпирическая константа.

1. Определить максимальное значение размера энергонесущих вихрей синтетической турбулентности:
2. Найти волновое число, соответствующее полученному размеру:
3. Определить набор волновых чисел , используемый для генерации синтетической турбулентности:

Где – минимальное волновое число; число мод, определяемое как максимальное целое число, для которого ; – эмпирическая константа.

1. Определить временной масштаб:

Где – эмпирическая константа.

1. Для каждого узла определить энергетический спектр фон Кармана:

Где и – эмпирические функции; – колмогоровское волновое число.

1. Найти нормированные амплитуды мод:
2. Для каждого узла определить составляющие вектора вспомогательной пульсационной скорости:

Где – орт, определяющий направление вектора волнового числа n-ой моды , имеющий случайное направление и равномерно распределенный по сфере;

– орт, лежащий в плоскости, нормальной к вектору ; направление вектора в данной плоскости задается углом, значение которого является случайным числом, равномерно распределенным в интервале ;

– фаза n-ой моды, являющаяся случайным числом, равномерно распределенным в интервале ;

– безразмерная круговая частота n-ой моды, являющаяся случайной величиной с нормальным распределением и имеющая среднее значение и стандартное отклонение, равные .

1. Для каждого узла определить разложение Холецкого тензора напряжений Рейнольдса:
2. Для каждого узла определить составляющие вектора пульсационной скорости искомого поля скоростей синтетической турбулентности:
3. Определить составляющие вектора суммарной скорости для каждого узла:



Рис. Поле скорости, полученное вышеизложенным спектральным методом (сверху), и поле скорости, полученное методом “рециклинга”. [3]



Рис. Распределение коэффициента трения по длине канала: 1 – эталонный LES, 2 – LES с использованием для входных условий вышеизложенного спектрального метода, 3 – LES с использование метода SEM. [3]



Рис. Профили средней скорости и разрешенных напряжений Рейнольдса в сечении x/H=2 для течения в плоском канале: 1 – эталонный LES, 2 – LES с использованием для входных условий вышеизложенного спектрального метода, 3 – LES с использование метода SEM. [3]

# Список литературы

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Д. Ю. Адамьян, М. Х. Стрелец и А. К. Травин, «Эффективный метод генерации синтетической турбулентности на входных границах LES области в рамках комбинированных RANS–LES подходов к расчету турбулентных течений,» *Матем. моделирование,* 2011. |
| [2] | N. Jarrin, SYNTHETIC INFLOW BOUNDARY CONDITIONS FOR THE NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENCE, Manchester: School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering The University of Manchester, 2008. |
| [3] | R. Poletto, T. Craft и A. Revell, «A New Divergence Free Synthetic Eddy Method for the Reproduction of Inlet Flow Conditions for Embedded LES,» *Flow, Turbulence and Combustion,* pp. 519-539, 2013. |
| [4] | J. Persson, Synthetic Inlet Boundary Conditions for LES, Goteborg: Department of Applied Mechanics Division of Fluid Dynamics CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2015. |
| [5] | R. Poletto, A. Revell, T. Craft и N. Jarrin, DIVERGENCE FREE SYNTHETIC EDDY METHOD FOR EMBEDDED LES INFLOW BOUNDARY CONDITIONS, Manchester: School of Mechanical Aerospace and Civil Engineering University of Manchester. |
| [6] | R. Poletto, A. Revell, T. Craft и N. Jarrin, Divergence Free Synthetic Eddy Method for LES Inflow Conditions, Manchester: School of Mechanical, Aerospace & Civil Engineering The University of Manchester. |