

ВЛИЯНИЕ СЧЕТНОЙ СЕТКИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЯМОГО ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ДЛЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ РЭЛЕЯ-ТЕЙЛОРА

Янилкин Ю.В., Чередниченко И.Е., Синькова О.Г.

Введение

При исследовании турбулентного перемешивания (ТП) широкое применение нашли методы прямого численного моделирования в эйлеровых переменных на неподвижной счетной сетке. Отметим, что почти во всех расчетах ТП в множестве работ разных исследователей использовалась квадратная (2D) или кубическая (3D) счетная сетка. Однако представляет интерес вопрос, а можно ли использовать для моделирования турбулентности неоднородную и неизотропную сетку, например, с разными размерами в разных направлениях или неравномерную в каком-либо направлении.

Настоящая работа направлена на исследование указанного вопроса на классической задаче гравитационного ТП, вызванного неустойчивостью Рэля-Тейлора при постоянном ускорении, направленном от тяжелого газа к легкому.

Введение

Рассматриваются две задачи.

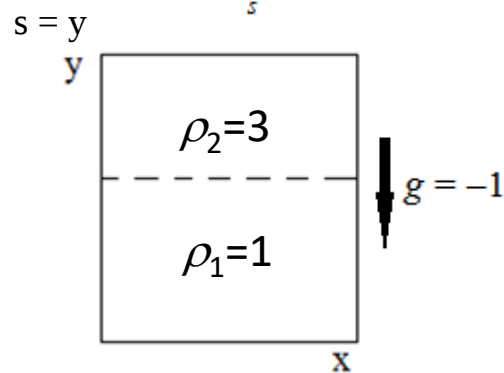
Первая из них представляет собой классическую задачу неустойчивости на плоской границе, в расчетах которой используется прямоугольная сетка. Моделирование этой задачи проведено в 2D и 3D постановках.

Вторая задача – неустойчивость на сферической границе, в которой для приближения к плоской задаче используется переменное значение ускорения, пропорциональное радиусу сферы. Исследование этой задачи проведено в 2D приближении.

Данная задача по геометрии вызывает большой интерес, так как сферически симметричные конструкции используются достаточно часто и, соответственно, в расчетах часто используются сферические сетки для лучшего сохранения симметрии течения.

Сравнение результатов расчетов проводится по скорости роста полной ширины ЗТП и турбулентной энергии.

$$P(s) = P_0 + \int_s^{s_2} \rho(s) \cdot g \cdot ds,$$



Постановка задач и расчетов

Таблица 1 – Характеристики 2D расчетов плоской задачи

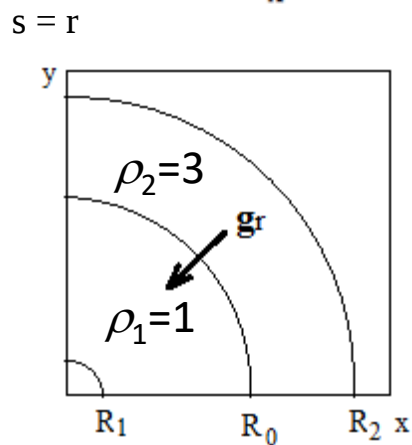
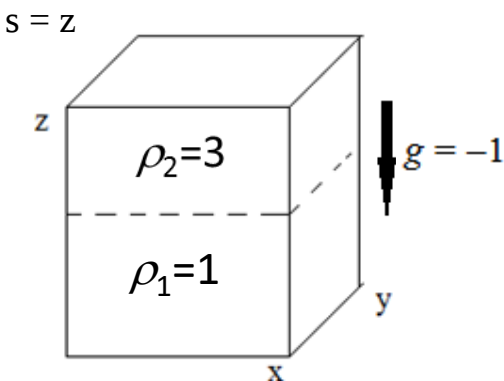
Номер расчета	Размер ячеек по x	Размер ячеек по y	Обозначения расчетов
1	h	h	h_y
2	h	3h	$3h_y$
3	h	h/3	$h_y/3$
4	h	знаменатель q	q_y

Таблица 2 – Характеристики 3D расчетов плоской задачи

Номер расчета	Размер ячеек по x	Размер ячеек по y	Размер ячеек по z	Обозначения расчетов
5	h	h	h	h_z
6	h	h	3h	$3h_z$
7	h	h	h/3	$h_z/3$
8	h	знаменатель q	h	q_y
9	h	h	знаменатель q	q_z

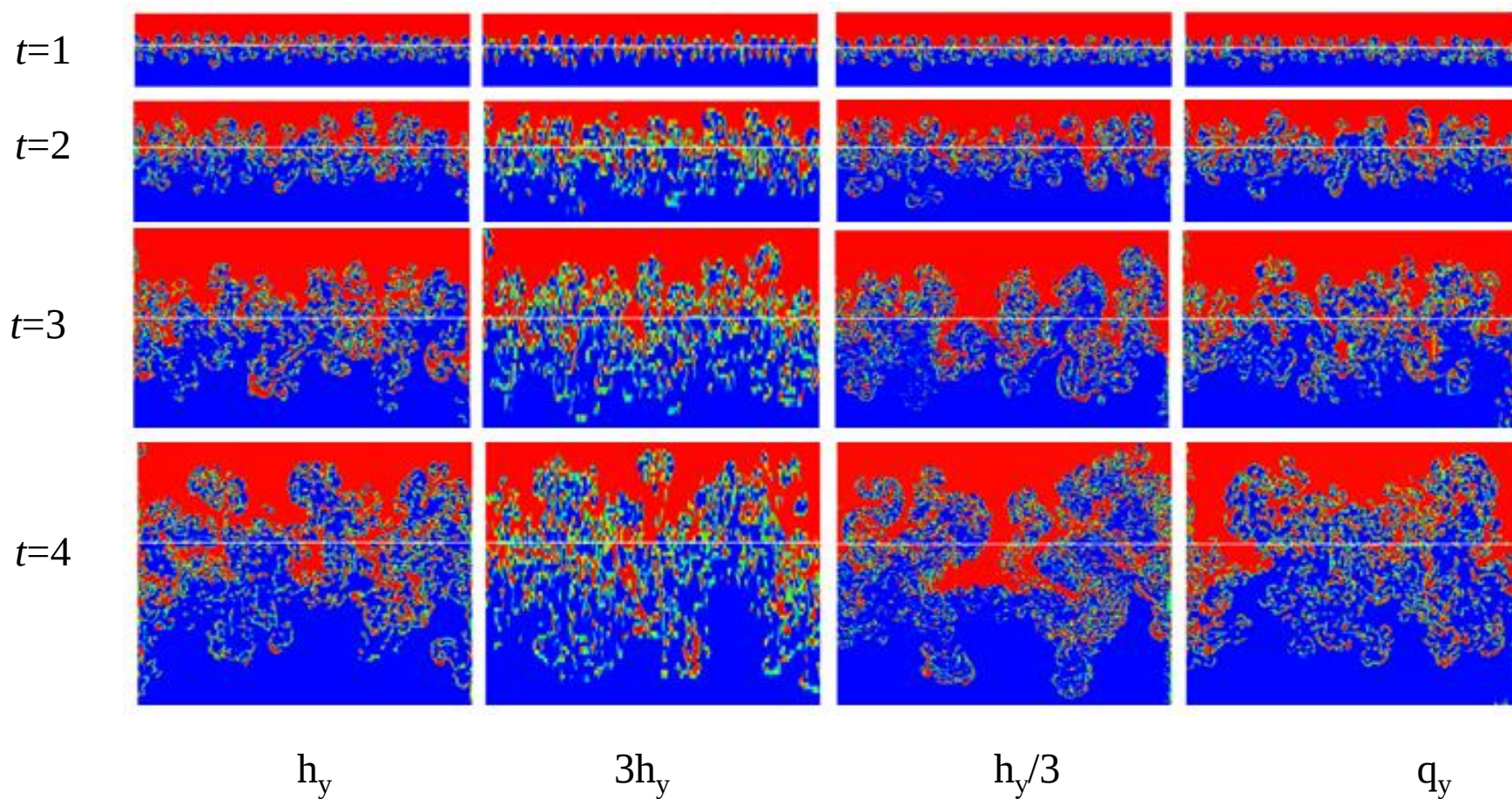
Таблица 3. Характеристики 2D расчетов сферической задачи

Номер расчета	Размер ячеек по углу	Размер ячеек по r	Обозначения расчетов
10	Расчет на квадратной сетке (h x h)		h^2
11	Разбиение по углу – 256 столбцов, размер ячеек по углу ~h	h	h_r
12	~h	3h	$3h_r$
13	~h	h/3	$h_r/3$
14	~h	знаменатель q~r	q_r

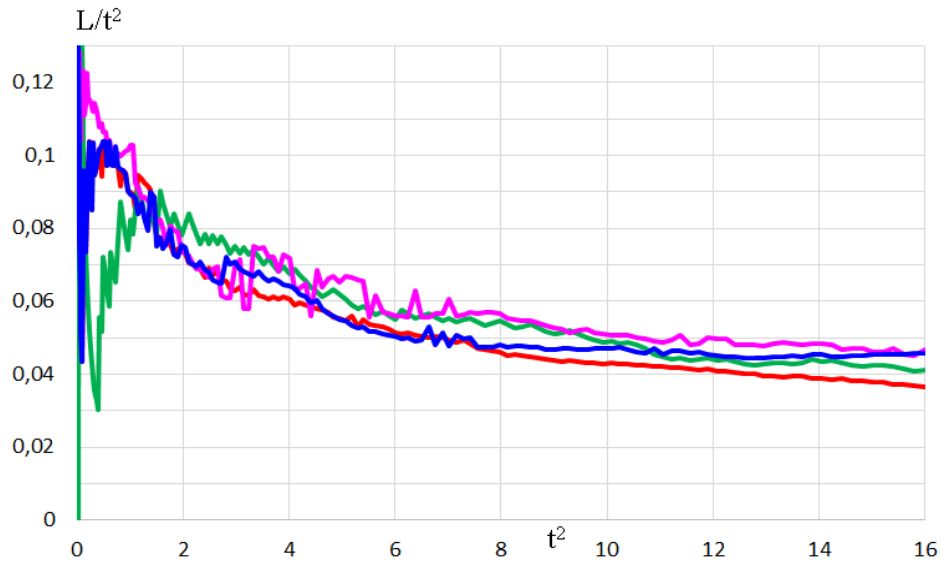


$$g_r = -r/R_0$$

Распределения объемной концентрации тяжелого газа в 2D расчетах

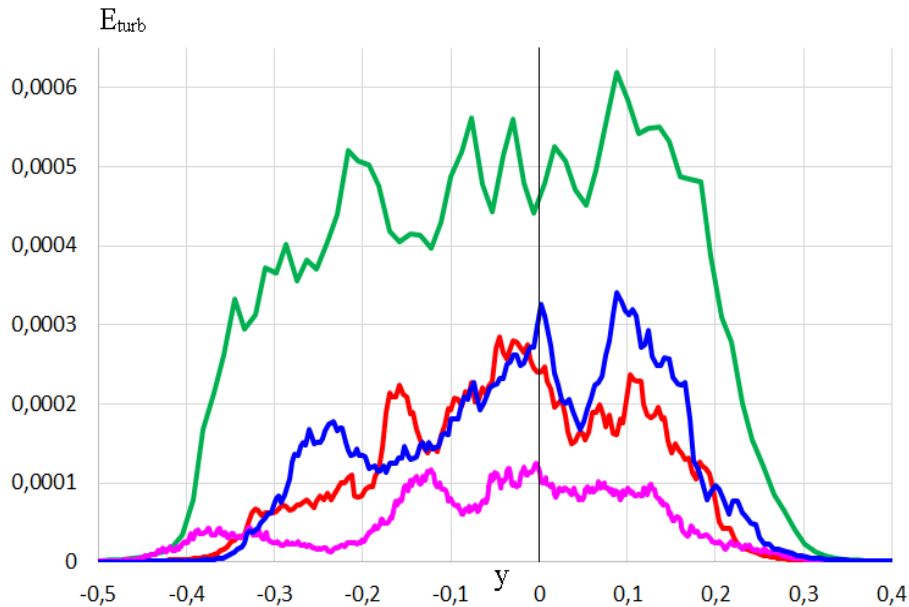


Интегральные результаты 2D расчетов плоской задачи



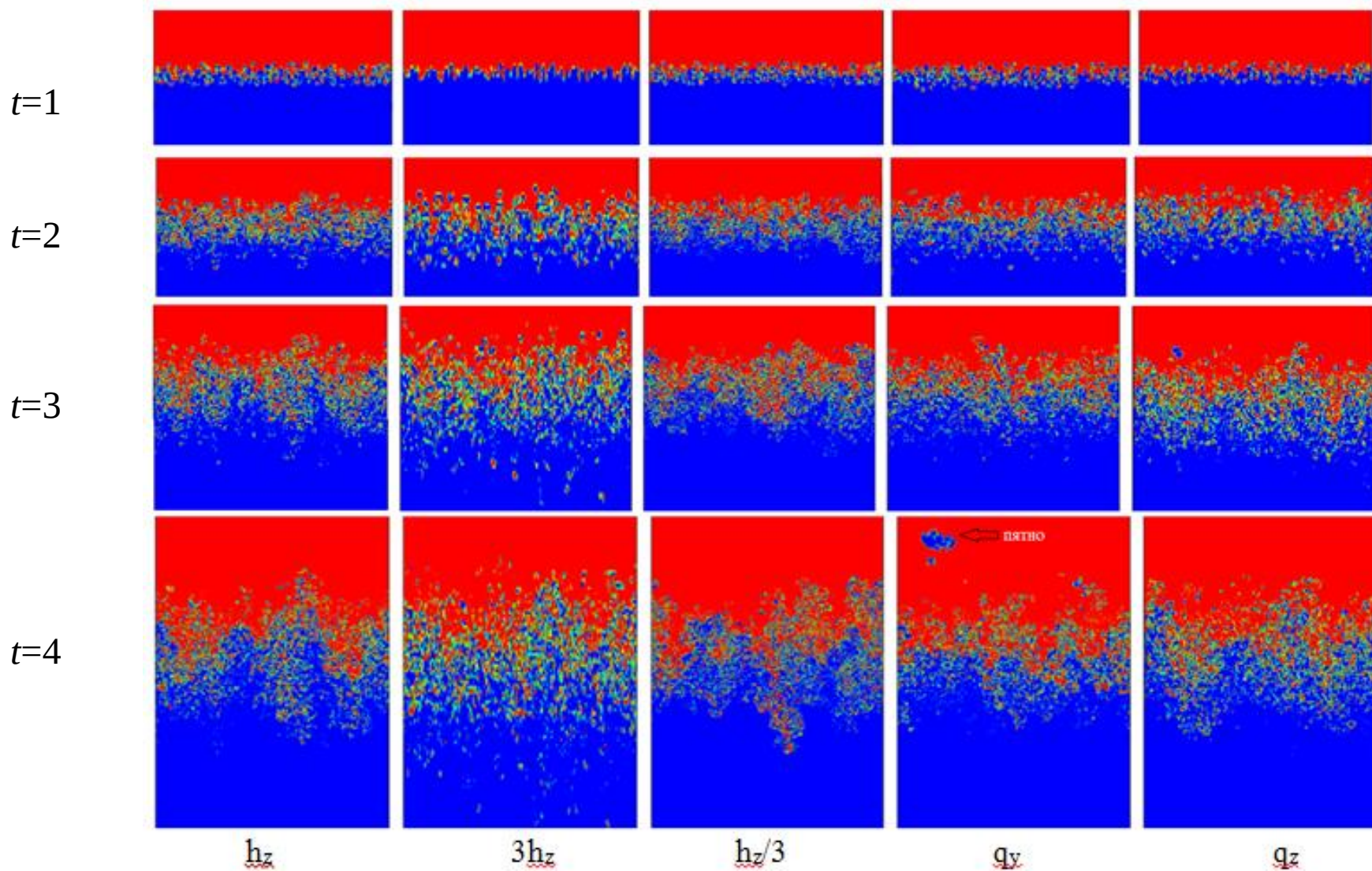
Приведенная ширина ЗТП

— h_y — $3h_y$ — $h_y/3$ — q_y

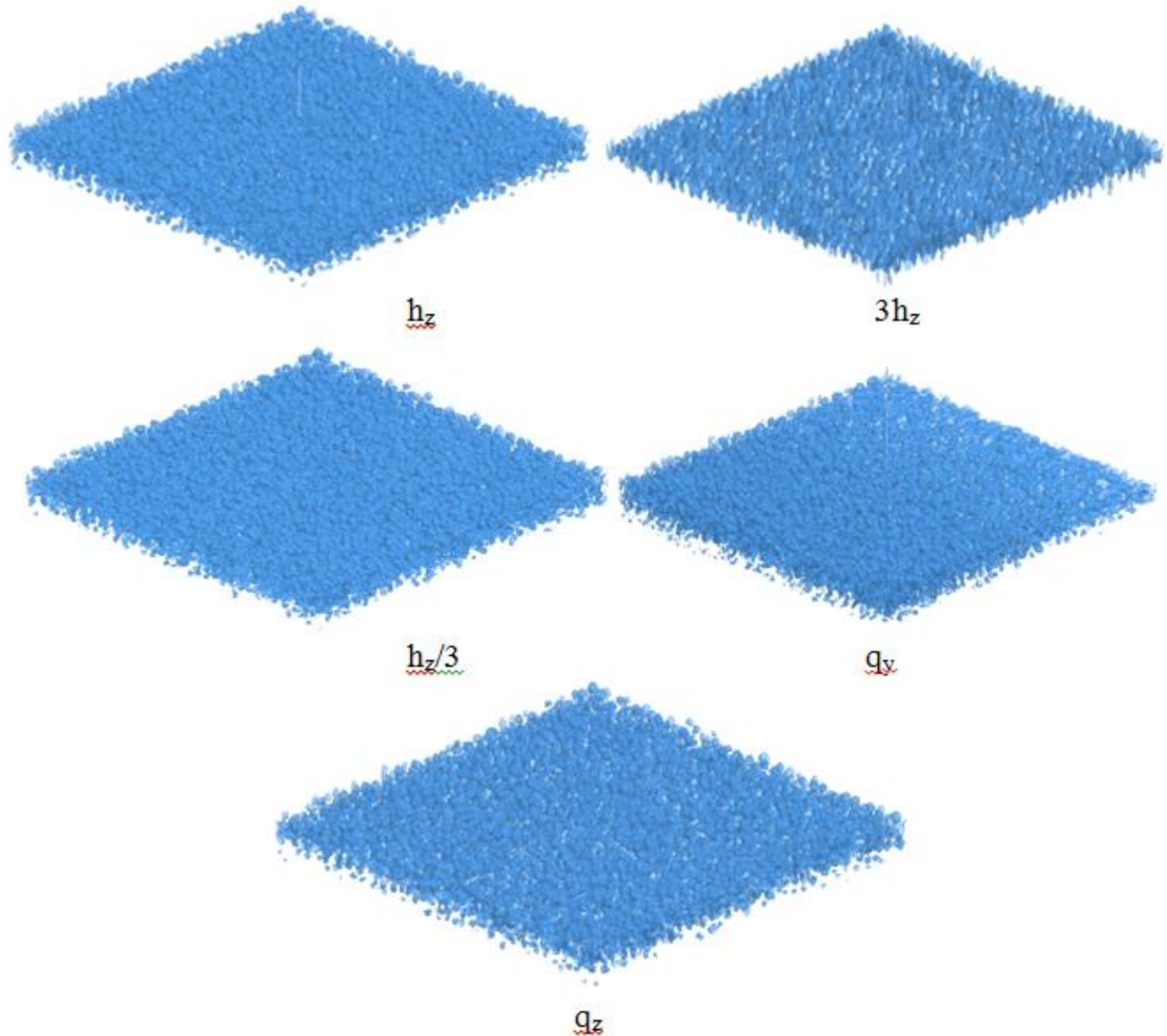


Турбулентная энергия на $t = 4$

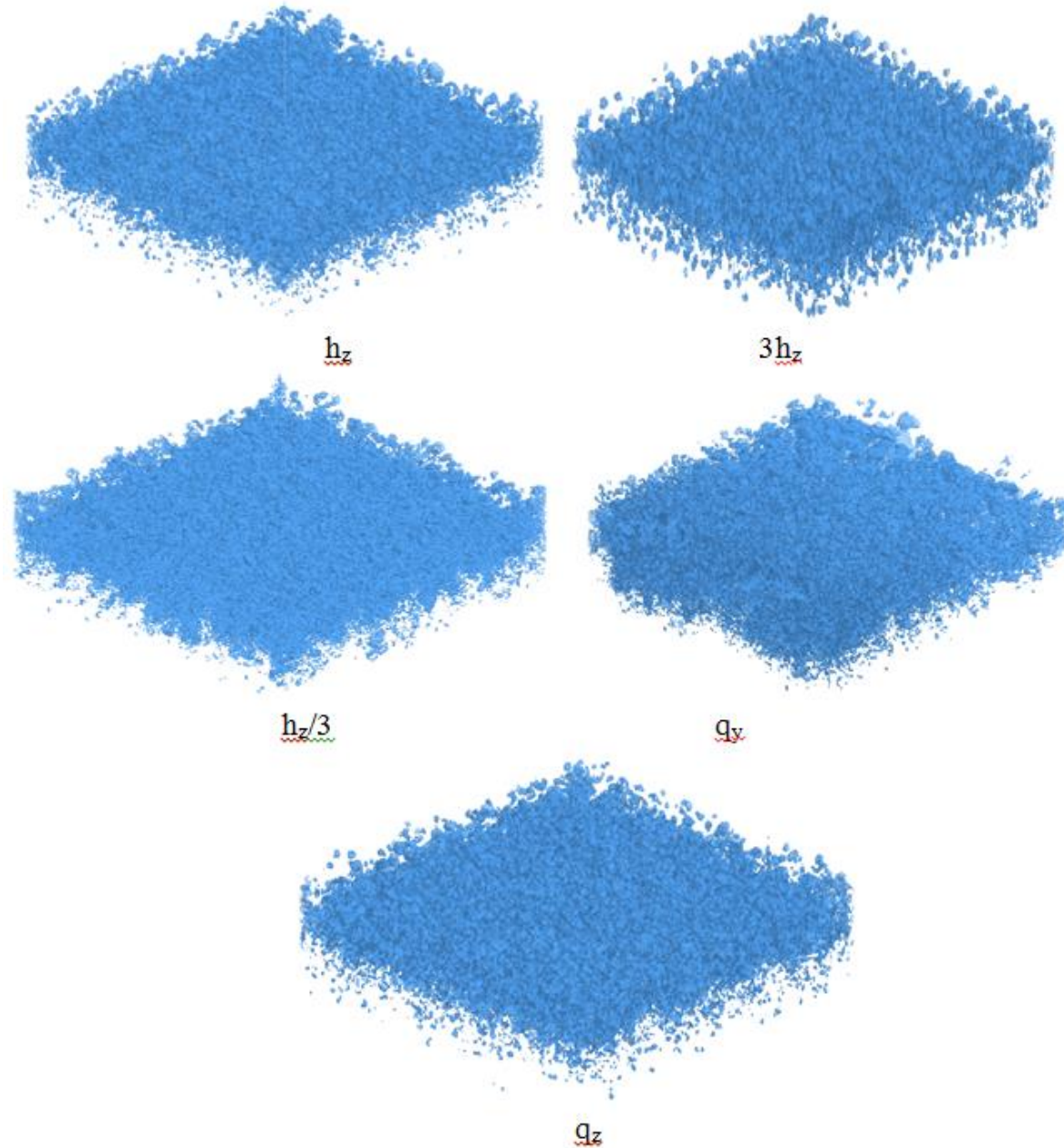
Распределения объемной концентрации тяжелого газа в 3D расчетах в сечении $x=\text{const}$



Изоповерхности тяжелого газа в 3D расчетах на $t=1,0$

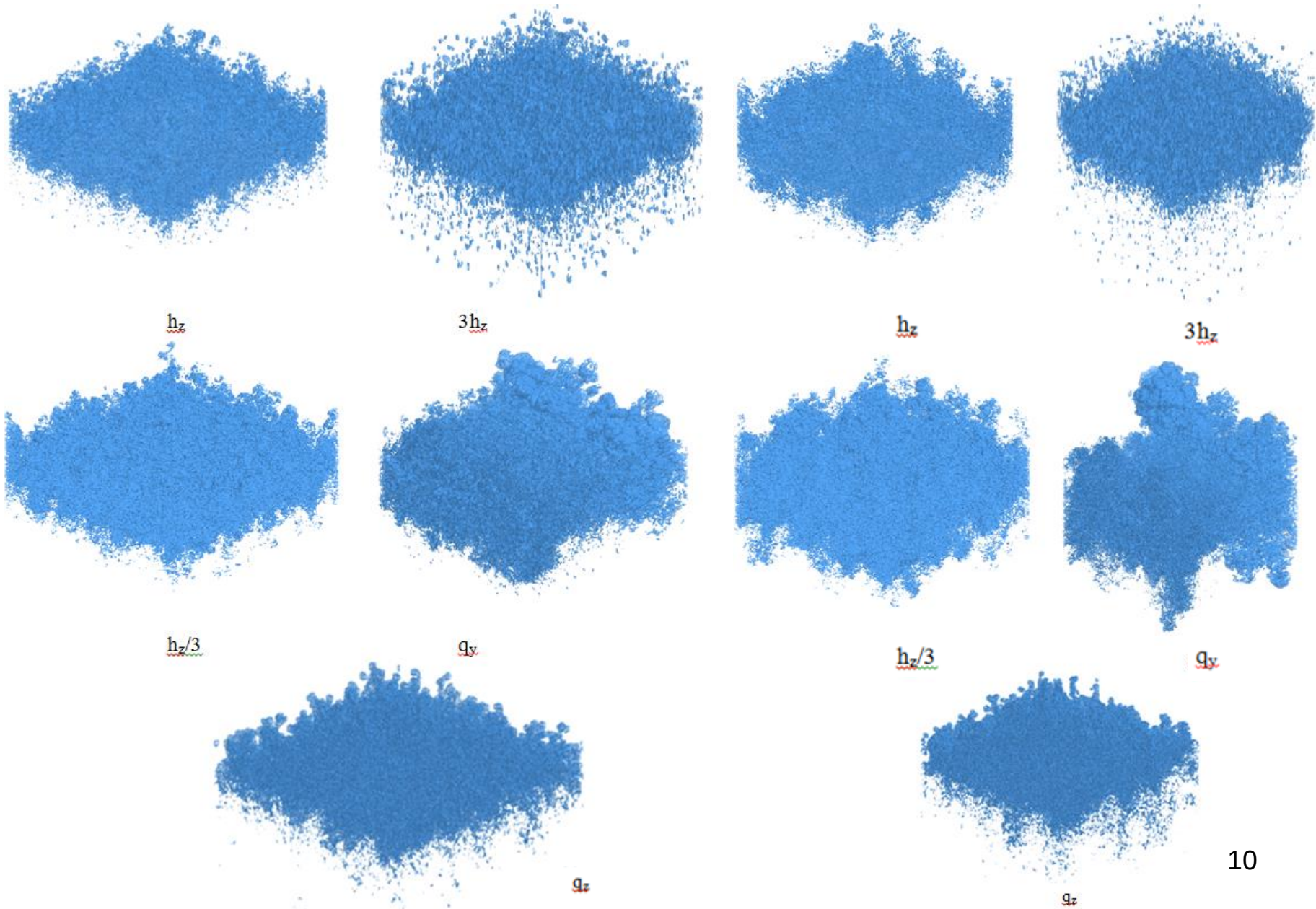


Изоповерхности тяжелого газа в 3D расчетах на $t=2,0$

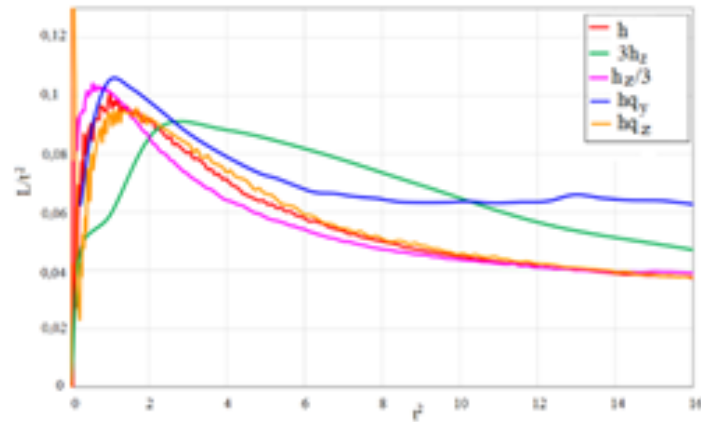


Изоповерхности тяжелого газа в 3D расчетах

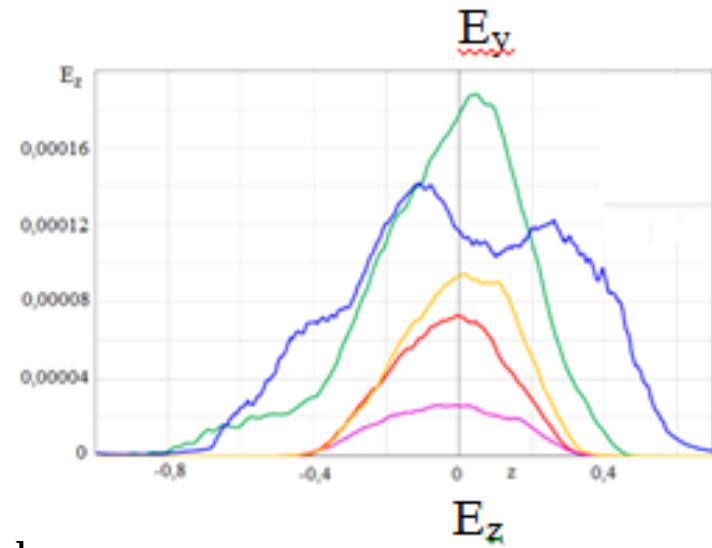
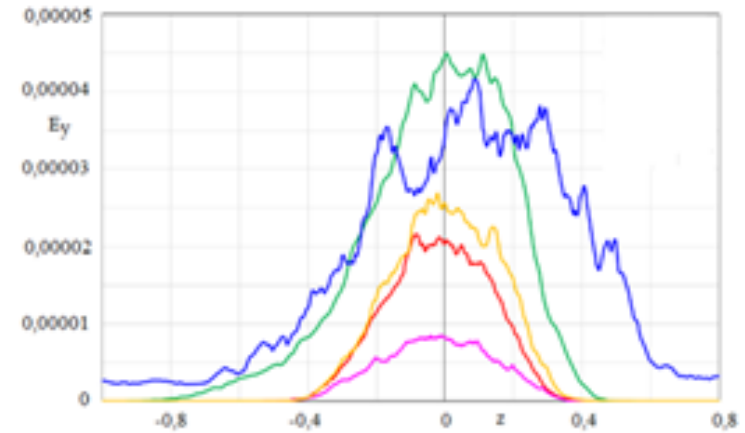
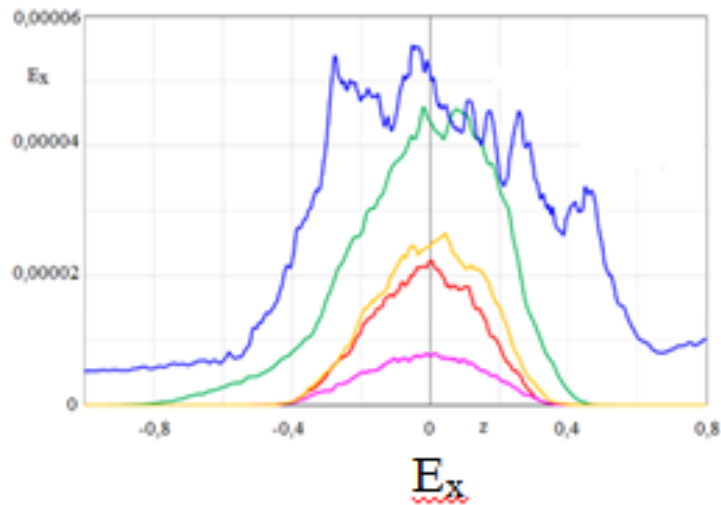
на $t=3$ $t=4$



Интегральные результаты 3D расчетов плоской задачи

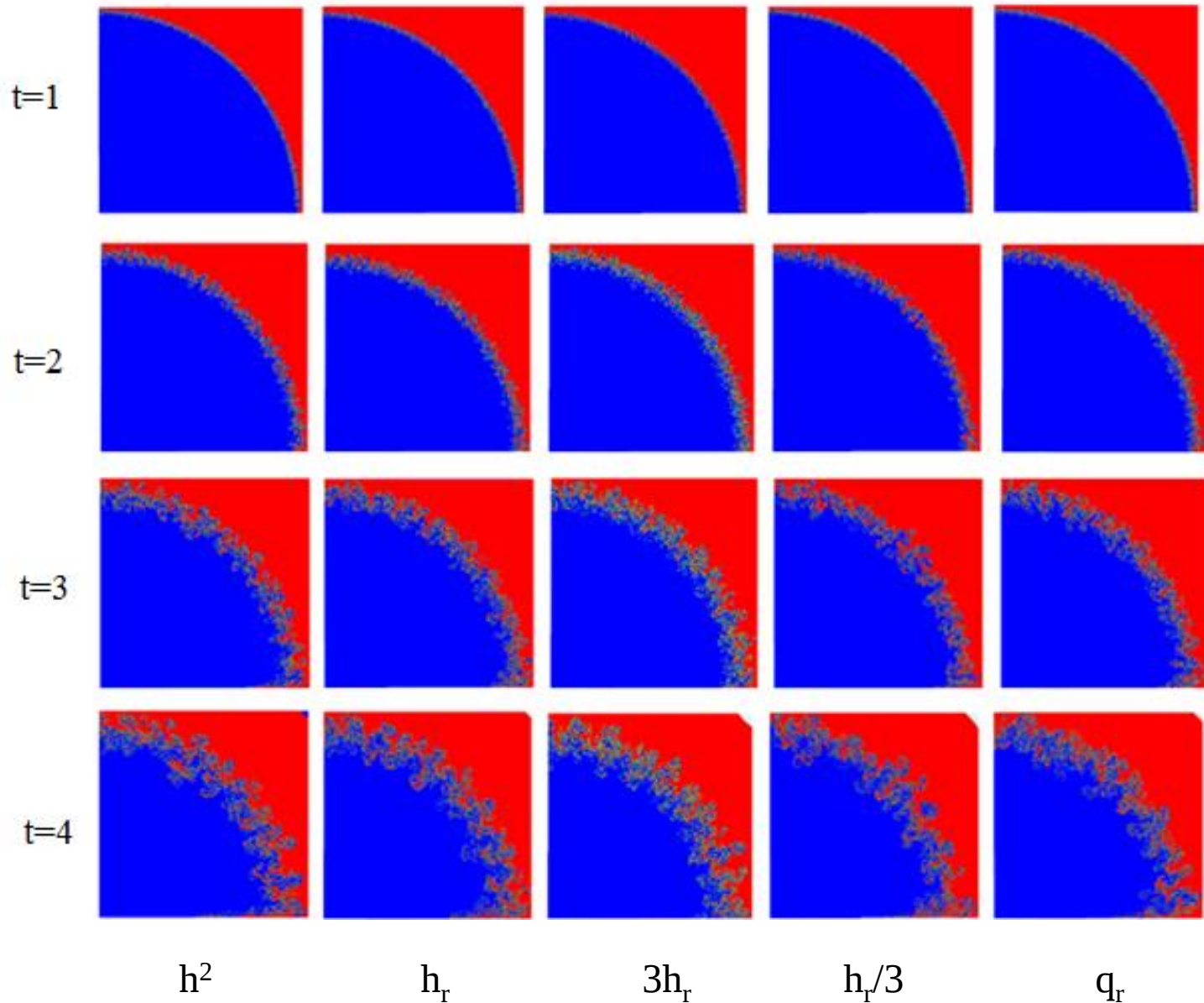


приведенная ширина ЗТП

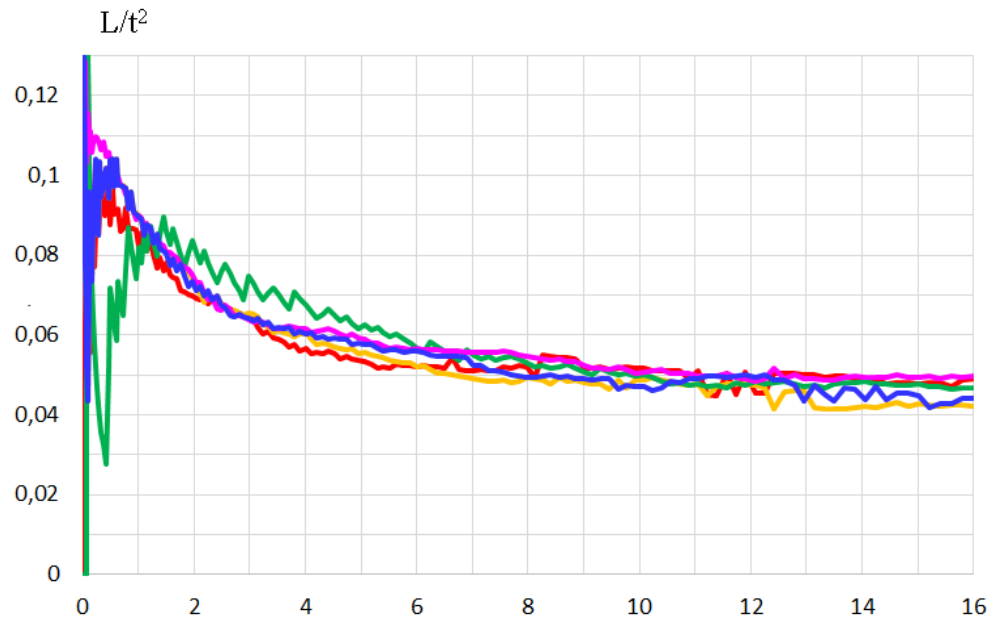


- h
- $3h_z$
- $h_z/3$
- Q_y
- Q_z

Распределения объемной концентрации тяжелого газа в расчетах сферической задачи

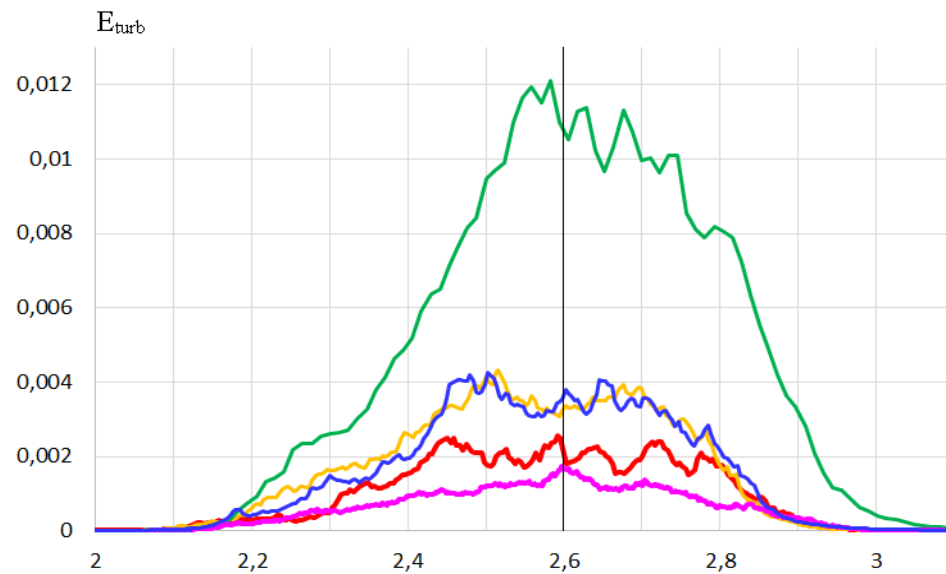


Интегральные результаты расчетов сферической задачи



Приведенная ширина ЗТП

— h^2 — h_r — $3h_r$ — $h_r/3$ — q_r



Турбулентная энергия на $t = 4$

Выводы

Исследованы результаты расчетов в зависимости от вида и размеров счетной сетки.

В качестве номинального расчета использовались расчеты на кубической (3D) и квадратной (2D) сетках, так как многочисленные расчеты, проведенные ранее, показали, что такая сетка позволяет получать адекватные результаты при прямом численном моделировании разнообразных турбулентных течений.

Показано, что использование неравномерных и неизотропных сеток с разными линейными размерами в разных направлениях может приводить к значительным отличиям от результатов расчетов на однородных (квадратных и кубических) сетках, особенно на ранней стадии процесса перемешивания.