

**Финогенов Н.А.**

*студент магистратуры*

*2 курс, институт Геологии и Нефтегазодобычи*

*Тюменский индустриальный университет*

*Россия, г. Тюмень*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ МНОГОФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ**

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются и сравниваются достоинства и недостатки различных моделей турбулентности для симуляции потока на базе программного обеспечения Ansys Fluent. В этой статье также обсуждается применимость и критерии оптимального выбора моделей для различных режимов многофазных течений.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, многофазное течение, модель турбулентности, Спаларт-Алмарас, Модель напряжений Рейнольдса, Ansys Fluent.

**Abstract:** This article examines and compares advantages and disadvantages of various turbulence models for flow simulation based on Ansys Fluent software. This article also discusses the applicability and criteria for the optimal choice of models for various multiphase flow regimes.

**Key words:** mathematical modeling, multiphase flow, turbulence model, Spalart-Allmaras, Reynolds stress model, Ansys Fluent.

ANSYS Fluent использует ряд моделей турбулентности [1]. Чтобы выбрать подходящую модель, следует выделить особенности и ограничения различных вариантов:

1. Спаларт-Алмарас. Это модель турбулентности с одним уравнением, основанная на кинематической вихревой вязкости и длине перемешивания. Эта длина перемешивания определяет перенос турбулентной вязкости. При моделировании специализированных потоков модель является надежной и реализуется быстро. Спаларт-Алмарас не требует интенсивного использования памяти и имеет хорошую сходимость, но не имеет функций стены. Недостатком является то, что он имеет некоторые ограничения из-за формулировки одного уравнения. Длина и масштабы турбулентности не так хорошо определены, как в других моделях, таких как SST [2].

Ограничения модели Спаларт-Алмарас включают:

- Сдвиговые потоки;
- Прогнозирование разделения фазы;
- Затухающая турбулентность.

2. k-ε модель. В стандартной модели k-ε мы решаем две переменные: турбулентную кинетическую энергию (k) и скорость диссипации кинетической энергии (ε). Модель использует пристеночные функции для аналитического учета скорости жидкости в вязком подслое у стенки. Этот метод обеспечивает хорошую сходимость и не требует интенсивного использования памяти. Модель используется для наибольшего количества приложений.

Ограничения k-ε включают:

- Противоскользющие стены;
- Неблагоприятные градиенты давления;
- Сильные искривления;
- Струйные потоки.

3. k-ω модель. Другая популярная модель с двумя уравнениями связывает k с удельной скоростью рассеяния кинетической энергии, или омега (ω). Целью стандартной модели k-ω является более точное моделирование пристеночных взаимодействий, чем модели k-ε.

Наиболее значительным преимуществом модели  $k-\omega$  является то, что ее можно применять во всем пограничном слое без дальнейших изменений. Кроме того, в этом режиме можно использовать стандартную модель  $k-\omega$ , не требуя вычисления расстояния до стены. Он хорошо работает для закрученных потоков и в пристеночной области, но дает переоценку отрыва [3].

Ограничения  $k-\omega$  включают:

- Трудность сходимости по сравнению с  $k-\varepsilon$ ;
- Чувствительность к начальным условиям.

4. Модель  $k-\omega$  переноса касательного напряжения (SST). Это вариант модели  $k-\omega$ . Модель приобрела эту популярность благодаря своей способности лучше предсказывать разделение и повторное присоединение по сравнению с  $k-\varepsilon$  и стандартным  $k-\omega$ . Модель SST  $k-\omega$  является усовершенствованием исходной модели  $k-\omega$  и устраняет некоторые специфические характеристики модели, такие как чувствительность к уровню турбулентности набегающего потока. Его преимущество заключается в том, что его можно наносить на область вязкого воздействия без дополнительных модификаций. Модель SST учитывает перекрестную диффузию, которая лучше сочетается с моделями  $k-\varepsilon$  и  $k-\omega$ . Используя смешанную функцию, основанную на расстоянии от стены, инженеры могут включить перекрестную диффузию вдали от стены, но не рядом с ней. Моделирование крупных вихрей и моделирование отдельных вихрей. Модели RANS имитируют все масштабы турбулентности и не разрешают ни одного. Модели моделирования крупных вихрей (LES) и моделирования отдельных вихрей (DES), с другой стороны, разрешают самые большие масштабы турбулентности и моделируют остальную часть с помощью моделей турбулентности на подсетке или путем смешивания с моделью RANS. Модель LES используется для прогнозирования крупных турбулентных вихревых структур при решении модельной системы CFD с мелкой сеткой. Однако, поскольку турбулентные масштабы у стенки малы, модель не может точно предсказать эти области. Самыми большими

ограничениями моделей LES и DES являются их высокие вычислительные затраты и затраты на программирование.

5. Модель напряжений Рейнольдса (RSM). Это наиболее полное физическое представление турбулентных течений. «Он полезен для решения новых задач и способен улавливать сложные деформации, такие как закрученные потоки и вторичные потоки. Для закрученных потоков, таких как циклоны, RSM является единственным точным закрытием. Эти модели пытаются смоделировать поток и члены непосредственно в уравнениях RANS. Эти модели основаны на шести уравнениях, которые представляют турбулентные напряжения. Они очень хорошо представляют поток, но ценой больших вычислительных затрат. Обычно они используются для чрезвычайно сложных или никогда ранее не изучавшихся потоков [4].

Ограничения RSM включают:

- Вычислительные затраты;
- Чувствительность к начальным условиям;
- Требуемый объем моделирования;
- Требование качественной сетки.

#### **Список используемых источников и литературы:**

1. ANSYS Fluent User's Guide: Electronic edition: сайт. – URL: [https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/main\\_pre.htm](https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/main_pre.htm) (дата обращения: 27.11.2020). – Текст: электронный.
2. Kraichnan R. Diffusion by a Random Velocity Field / R. Kraichnan. - Текст: электронный // Physics of Fluids, – 1970. - №11. – P. 21-31.
3. Kolev. N.I. Multiphase Flow Dynamics 2: Thermal and Mechanical Interactions. Springer / N.I. Kolev. – Berlin: Hemisphere, – 2005 – 194 p. – Текст: электронный.
4. Kays. W. M. Turbulent Prandtl Number - Where Are We? / W. M. Kays. - Текст: электронный // J. Heat Transfer, – 1994. - №116. – P. 284-295.