

# **ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПЫЛЕНИЯ ТОПЛИВА В ЗАДАЧАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**

**Масленников Дмитрий Александрович**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

В работе рассмотрены вопросы графического отображения результатов исследований в задачах вычислительной гидродинамики. Представлены результаты научных исследований, полученные в численной форме и представленные в виде графической информации.

**Ключевые слова:** графическое отображение, вычислительная гидродинамика, компьютерное моделирование.

# **THE GRAPHICAL PRESENTATION OF THE RESULTS OF FUEL SPRAY RESEARCH IN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS PROBLEMS**

**Maslennikov Dmitry Alexandrovich**

Donetsk National Technical University

The paper deals with the graphical representation of the results of research in computational fluid dynamics problems. Presented research results obtained in numerical form and presented in the form of graphical information.

**Keywords:** graphical representation, computational fluid dynamics, computer simulation.

## **Введение**

Методы компьютерного моделирования физических процессов являются важным инструментом, предопределяющим новые возможности, и востребованы во многих областях знания, науки и инженерных технологий. Их использование позволяет в значительной степени сократить и оптимизировать процесс исследования. А компьютерная графика позволяет представить результаты научных исследований, выраженные в численной форме, в виде визуальных образов. Графическое представление численных данных облегчает работу с информацией.

В последние годы наиболее широкое распространение в исследованиях механики жидкости получили методы компьютерного моделирования. В основном это связано с очень динамичным развитием аппаратных средств вычислительной техники и программного обеспечения. Использование компьютерного моделирования на начальных этапах

проектирования значительно снижает затраты и ускоряет внедрение нового решения, что приводит к снижению эксплуатационных расходов.

Примером применения на этапах проектирования компьютерного моделирования является автомобильная промышленность [1]. Моделирование и визуализация результатов применяются при проектировании аэродинамического обвеса автомобиля, исследуется движение жидкостей и газов в системах двигателя (турбулентный поток внутри камеры сгорания, течение газа в выхлопных коллекторах, система охлаждения, процессы впрыска и испарения топлива), вентиляции и кондиционирования воздуха салона, сцепление шин с дорожным покрытием в различных условиях.

Вычислительная гидродинамика (англ. computational fluid dynamics, CFD) – подраздел механики сплошных сред, включающий совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов и визуализации этих процессов [2].

Программы CFD (вычислительная гидродинамика) позволяют проводить подробный анализ химических и физических процессов, при этом нет необходимости в больших затратах времени и дорогостоящих экспериментальных исследованиях во время цикла разработки и модернизации. Возможно получить необходимую информацию о потоке жидкости (распределение поля скоростей, поля давления), движении тепла (температурного поля) и массы, а также получить детальное изображение этих процессов. Это достигается путем численного решения уравнений, описывающих обмен импульсом, массы и энергетического баланса. А графическое представление результатов исследований существенно облегчает обеспечение контроля и лучшего понимания численных результатов

Повышение уровня знаний о сложных механизмах гидродинамика может быть достигнуто за счет правильной экспериментальной проверки моделей. Основные характеристики гидродинамического процесса могут быть исследованы с помощью оптических методов анализа потоков:

- ♦ цифровой метод измерения полей скорости с использованием индикаторных частиц, который основан на последовательной корреляции двух последовательных изображений потока;

- ♦ визуализация структур течения. Цифровая запись изображений и последующая их обработка позволяют определить следы частиц, взвешенных в потоке. Таким образом, создается образ структуры потока и облегчается интерпретация основных характеристик поля скоростей.

Использование этой информации является основой для оценки адекватности графического отображения результатов компьютерного моделирования [7].

### **Моделирование процесса распыления топлива**

Для моделирования процесса распыления топлива прежде всего необходимо создание геометрической модели.

CFD-моделирование использует геометрию (геометрическое распределение элемента объема). Моделирование процесса распыления топлива проводилось в замкнутом объеме, форма которого – цилиндр высотой и диаметром 90 мм, что соответствует форме камеры сгорания. Объем цилиндра разбит на равные кубические ячейки с длиной ребра 1 мм. Для адекватного отображения графической информации модель распыления топлива должна охватывать многофазовые явления и требует одновременного решения уравнений для жидкой и газовой фазы. Модель процесса распыления топлива основана на подмоделях, которые в значительной степени влияют на качество моделирования процесса впрыска топлива. Используемая модель состоит из следующих подмоделей:

- ◆ турбулентная модель распада капель топлива,
- ◆ модель испарения топлива,
- ◆ модель распада капель.

Из анализа литературы [8, 9] можно выделить следующие подмодели распыления топлива:

- ◆ турбулентная модель распада капель топлива – стохастическая модель,
- ◆ модель испарения топлива – модель Дуковича,
- ◆ модель распада капель – КНРТ (модель поверхностных волн Кельвина–Гельмгольца (КН) и распределение Рэлея–Тейлора (RT)).

Таким образом, визуальное отображение распыления топлива учитывает движение и распад капель топлива, влияние на этот процесс внешних сил. При использовании модели КНРТ предполагается, что инжектор образует коническую струю.

Приведенные выше модели были использованы для моделирования распыления топлива в бензиновом ДВС с непосредственным впрыском в камеру сгорания. Верификация компьютерной модели выполнена на основании оптических исследований [11].

Для наглядного представления и анализа результаты численного решения процесса распыления топлива представляются в виде графи-

ков, цветных полей распределения переменных или векторных полей, линий тока, числовых значений параметров в заданных областях, трехмерной модели процесса. Форма графического представления результатов компьютерного моделирования должна наилучшим образом отражать физическую сущность исследуемых процессов.

Некоторые результаты моделирования, связанные с физической картиной протекающих в камере сгорания процессов, показаны на рис. 1–4.

На рис. 1 показана трехмерная модель распределения капель распыленного топлива в камере сгорания. Для наглядности графического отображения процесса испарения топлива градиенты показывают распределение диаметра капель.

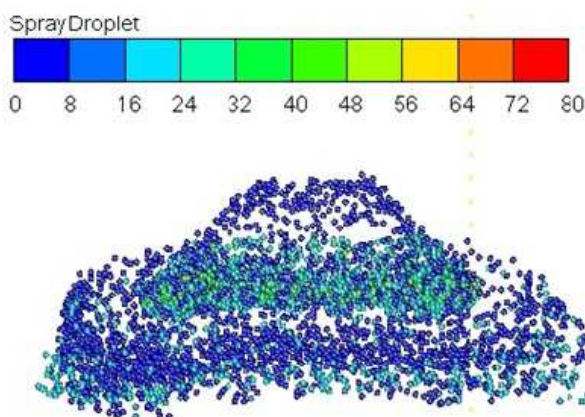


Рис. 1. Трехмерная модель, показывающая распределение капель распыленного топлива

Модель позволяет наглядно продемонстрировать процесс распыления топлива при помощи трехмерной поверхности с постоянным коэффициентом избытка воздуха (рис. 2).

На рис. 3 показано векторное поле скоростей в камере сгорания в момент распыления топлива. Анализ этого поля позволяет определить степень взаимодействия топлива с воздухом. Завихрения на поверхности топливной струи влияют на скорость испарения капель и процессы перемешивания.

После завершения впрыска распределение топлива в камере сгорания неравномерное, это показано на рис. 4. Можно выделить области с различным  $\lambda$ -коэффициентом избытка воздуха топливно-воздушной смеси.

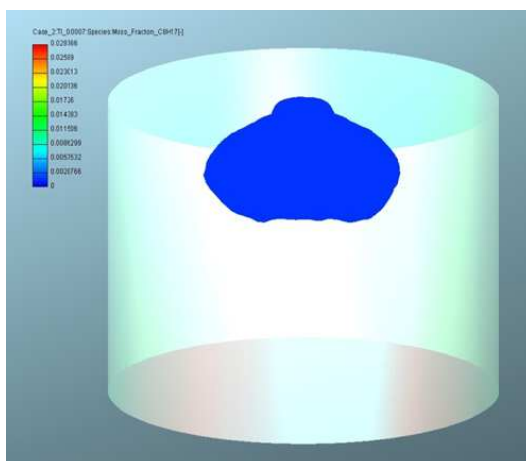


Рис. 2. Процесс распыления топлива (трехмерная поверхность с постоянным коэффициентом избытка воздуха)

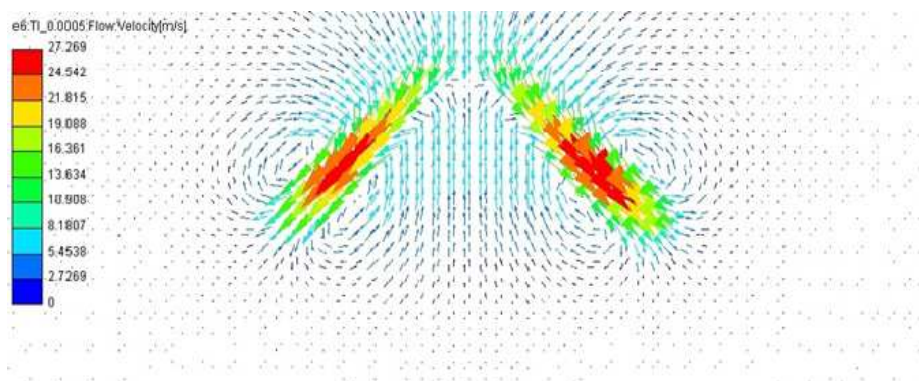


Рис. 3. Векторное поле скоростей в камере сгорания

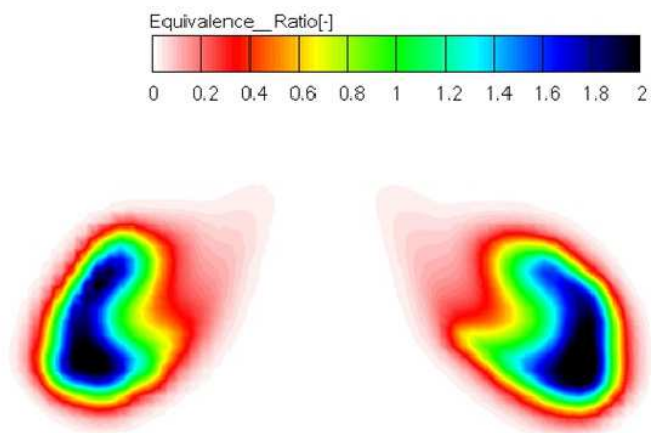


Рис. 4. Распределение топлива в камере сгорания

Из всего вышеизложенного следует, что в настоящее время графическое представление данных зачастую становится единственным инструментом, способным прояснить суть моделируемого физического процесса.

Вычислительная гидродинамика (Computational fluid dynamics) позволяет моделировать химические и физические процессы.

Компьютерное моделирование и графическое отображение результатов используется, когда непосредственное наблюдение за поведением объекта не представляется возможным или является сложным при проведении экспериментов.

### Список литературы

1. AVL FIRE ver. 2009. ICE Physics&Chemistry. – AVL Graz 2009.
2. Вычислительная гидродинамика. – URL: [https://tpolis.com/ansys/files/ansys\\_gidrodinamic.pdf](https://tpolis.com/ansys/files/ansys_gidrodinamic.pdf).
3. Potentials of the Spray-Guided BMW DI Combustion System / Ch. Schwarz, E. Schünemann, B. Durst, J. Fischer, A. Witt // SAE Technical Paper 2008-01-1265.
4. Rawski F., Szpica D. Symulacyjne metody badań układów dolotowych tłokowych silników spalinowych. – PM 2005 zeszyt 2005. – 2.
5. AVL FIRE – руководство пользователя. – URL: <https://www.avl.com/-/avl-fire-1>.
6. Maslennikov D. Badawcza identyfikacja właściwości systemu spalania z bezpośrednim wtryskiem paliwa i zapłonem iskrowym. 149 s. 30 cm + 2 recenzje: Rozprawa doktorska. – Politechnika Poznańska, 2012 DrOIN 1457.