

УДК 621.431

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПАДА СТРУЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ФОРСУНКАМИ БЕНЗИНОВЫХ ДВС С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКОМ.

Д.А. Масленников

Донецкий национальный технический университет, Донецк

*Аннотация: в работе рассмотрены вопросы применимости CFD моделирования для исследования распыления топлива в системах бензиновых двигателей с непосредственным впрыском топлива. Представлены результаты CFD моделирования и произведено сравнение с экспериментальными данными.*

Концепция формирования рабочей смеси в двигателях с искровым зажиганием и системой непосредственного впрыска очень сильно зависит от качества распыления топлива. Чем меньше диаметр капли, тем быстрее она испаряется. В то же время, необходимо обеспечить достаточное количество топлива в камере сгорания, смешивание топлива со свежим зарядом воздуха и испарение топлива, эти процессы оказывают решающее влияние на горение рабочей смеси в бензиновых двигателях. На практике процесс распыления топлива оказывает существенное влияние на протекание процесса сгорания что в последствии влияет на состав выхлопных газов.

Методы компьютерного моделирования процессов сгорания и смесеобразования в ДВС, являются важным инструментом, предопределяющим развитие этой отрасли техники. Их использование позволяет в значительной степени сократить и оптимизировать процесс исследования. Пакеты программного обеспечения CFD моделирования (Computational fluid dynamics), которые позволяют моделировать физические процессы в двигателях внутреннего сгорания [2].

Процесс распада топливной струи на капли начинается в соплах форсунки [1, 4] или непосредственно после истечения из них [5]. Впрыск и распыление топлива можно разделить на две различные зоны. Зона, в которой струя топлива находится в двух фазах жидкая фаза и фаза начального распада на капли, обозначается как зона первичного распада топливной струи. Во второй зоне (в отдалении от отверстия форсунки) осуществляется распад крупных капель на более мелкие, струя топлива разделяется на капли. Отдельные зоны показаны на рисунке 1.

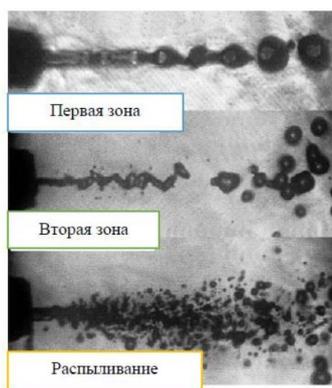


Рис. 1. Зоны распада струи топлива

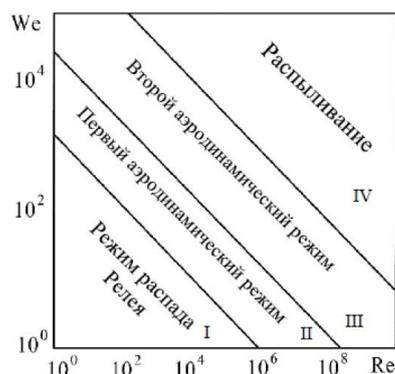


Рис. 2. Режимы распада струи топлива

В зависимости от значения величины  $Re$  и  $We$  принято выделять четыре режима распада струи топлива рисунок 2.

Первый режим (распада Релея) выражен капиллярным распадом струи топлива (область I). Слабое аэродинамическое воздействие газа на струю топлива наблюдается при втором режиме распада струи (область II). Струя распадается вследствие быстрого развития односторонних волнообразных колебаний. Третий режим характеризуется сильным аэродинамическим воздействием газа на струю топлива, что приводит к уменьшению размера капель (область III). Распыливание топлива наблюдается при большой скорости струи, при больших разнице давлений впрыска и противодавления, когда величина  $Re$  и  $We$  принимают высокие значения (область IV) - струя распадается уже на выходе из отверстий форсунки, и при этом образуются капли значительно меньше, чем диаметр сопла (рис. 2).

Помимо вторичного распада капель топлива, наблюдается соударение их в струе что также имеет значительное влияние на процесс смесеобразования в цилиндре двигателя. Изменение диаметра капли влияет на число Вебера, также могут меняться механизмы столкновения. Различные механизмы столкновения показаны графически на рис. 3. Столкновение капель топлива приводит к коагуляции или коалесценции при значении числа Вебера выше критического ( $We =$  от 10 до 12 для бензина).

Увеличение диаметра капель увеличивает число Вебера. В зависимости от диаметра, более крупные капли могут снова распадаться на более мелкие или распадаются взрываясь [7]. Таким образом, решение этого вопроса теоретическим путем встречает огромные трудности при описании этого процесса и вычислении размера капель в потоке топлива, так как они могут изменяться во время этого процесса.

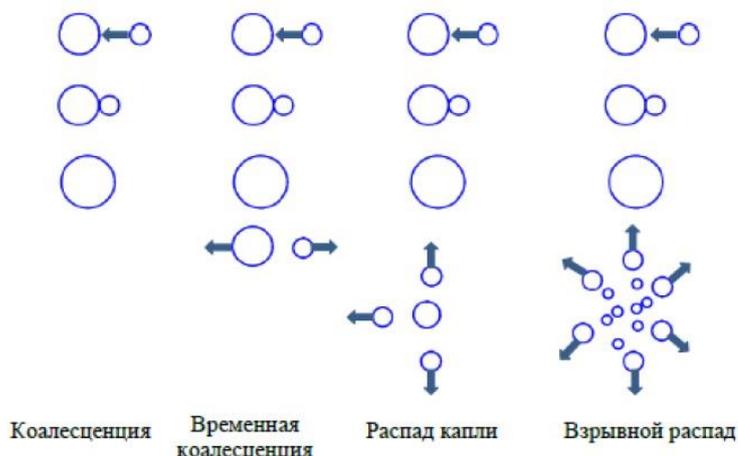


Рис. 3. Механизм взаимодействия капель в потоке топлива

Таким образом, CFD модель впрыска топлива должна учитывать движение и распад капель топлива, влияние на этот процесс внешних сил. Исследования распыления топлива охватывают многофазовые явления и требуют 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

Из анализа литературы [3, 8] можно выделить следующие подмодели распада струи 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 (РТ)).

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

Компьютерная модель позволяют прогнозировать процессы, происходящие в тестовой системе (реальной или проектируемой) при некоторых допущениях. Проведенные исследования позволили оценить соответствие компьютерной модели и реального процесса: Результаты для сравнительного анализа сведены в таблицу 1.

Соответствие компьютерной модели распыления топлива экспериментальным исследованиями проведена с целью выявления расхождений между результатами экспериментальных исследований и моделирования.

Таблица 1

Сравнение результатов эксперимента и компьютерной модели

	Давление топлива $P_{впр} = 20$ МПа, противодействие $P_{цил} = 1,5$ МПа					
	Время [мс]					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Эксперимент						
Моделирование (капли топлива)						
Трёхмерная поверхность						

Оценка достоверности компьютерной модели основана на сравнении соответствия (с точки зрения принятого критерия) конкретных характеристик, полученных на основании результатов экспериментальных исследований и моделирования (в ходе экспериментов, проведенных с теми же параметрами) [6] и сведены на графике (рис. 4).

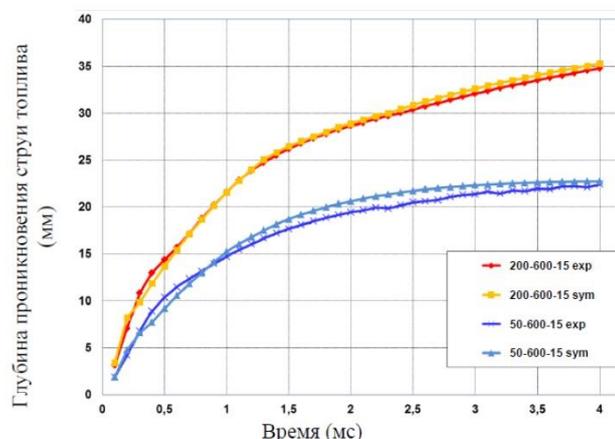


Рис. 4. Оценка достоверности компьютерной модели

**Выводы:**

Возможности CFD моделирования (Computational fluid dynamics) позволяют решать задачи, связанные с распадом струи топлива. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментами и теорией. Моделирование процесса распыления топлива позволяет определить параметры струи распылённого топлива при условии, что должным образом отражены входные параметры и геометрия распы-

лителя форсунки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Arcoumanis C.; Gavaises M.; French B.: Effect of Fuel Injection Process on the Structure of Diesel Sprays. SAE Technical Paper 970799, 1997.
2. AVL FIRE ver. 2009, ICE Physics&Chemistry. AVL Graz 2009.
3. AVL FIRE – руководство пользователя, <https://www.avl.com/-/avl-fire-1>
4. Bayvel L.; Orzechowski Z.: Liquid Atomization. Taylor & Fransis, 1993.
5. Lohfink C., Baecker H., Tichy M.: Experimental Investigation on Catalyst-Heating Strategies and Potential of GDI Combustion Systems. SAE Technical Paper 2008-01-2517, 2008.
6. Maslennikov D.: Badawcza identyfikacja właściwości systemu spalania z bezpośrednim wtryskiem paliwa i zapłonem iskrowym. 149 s. Rozprawa doktorska. Politechnika.
7. Ohnesorge, W.: Formation of drops by nozzles and the breakup of liquid jets. W: Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Band 16, 1996.
8. Rawski F., Szpica D.: Symulacyjne metody badań układów dolotowych tłokowych silników spalinowych. PM 2005 zeszyt 2/2005.