

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВПРЫСКА НА РАСПАД СТРУИ ТОПЛИВА В ДВС С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКОМ.

Масленников Д.А.

Донецкий Национальный Технический Университет, Донецк, Украина

Аннотация: В данной работе исследованы процессы распада струи топлива на капли при непосредственном впрыске топлива в цилиндры двигателя с искровым зажиганием. Продемонстрировано влияние параметров впрыска на распад топливной струи. Рассмотрены пути совершенствования процессов распыления топлива.

Ключевые слова: распад топливной струи, физическое моделирование, расчет, размеры капель топлива, взаимодействие капель, гидравлическое распыливание, ДВС.

Развитие двигателей внутреннего сгорания транспортных средств все чаще обусловлены требованиями охраны окружающей среды и уменьшения расход топлива. Для выполнения этих требований необходимо постоянно совершенствовать существующие конструкции ДВС. Во всем мире, проводятся исследования процессов распыления и сгорания топлива, целью которых является улучшение процессов, происходящих в рабочем пространстве двигателя внутреннего сгорания. Несовершенство процессов распыления и сгорания топлива влияют на энергетические и экологические показатели ДВС. Существует два направления исследований в этой области: первый включает в себя изучение влияния конструктивных изменений в системах двигателя внутреннего сгорания на процессы распыления и горения топлива; второе направление изучение составляющих этих процессов и их протекания.

Основное направление работы по совершенствованию процессов сгорания топлива являются исследование процессов, происходящих в цилиндре двигателя. В связи с этим, необходимы исследования процессов распыления топлива, смесеобразования и горения топлива и возможности контролировать протекание этих процессов. Это требует тщательной диагностики с учетом причинно-следственный анализа протекания этих процессов.

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.

Процесс диспергирования топлива в газовую (воздушную) среду заключается в дроблении струй на большое число капель и распределении этих капель в пространстве. Гидравлическое распыливание осуществляется за счет свободного распада струи, вытекающей с большой скоростью из соплового отверстия форсунки, струя топлива, вылетая из сопла, распадается, образуя факел распыла.

Струя топлива, вытекающая из сопла форсунки в пространство сжатия в цилиндре, находится под воздействием: внешних сил аэродинамического сопротивления сжатого воздуха, сил поверхностного натяжения и сил сцепления топлива, а также возмущений, возникающих при истечении топлива.

Силы аэродинамического сопротивления препятствуют движению струи, и под воздействием их струя разбивается на отдельные капли. При увеличении скорости истечения и плотности среды, куда происходит истечение, аэродинамические силы возрастают. Чем больше эти силы, тем раньше струя теряет свою форму, распадаясь на отдельные капли. Силы поверхностного натяжения и силы сцепления топлива, наоборот, своим действием стремятся сохранить форму струи, т. е. удлинить сплошную часть струи.

Начальные возмущения струи возникают вследствие: турбулентного движения топлива внутри сопла форсунки, влияния кромок соплового отверстия, шероховатости стенок его, сжимаемости топлива и пр. Начальные возмущения ускоряют распад струи. Процесс распада топливной струи на капли начинается в соплах форсунки [1, 2] или непосредственно после истечения из них [3]. 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.

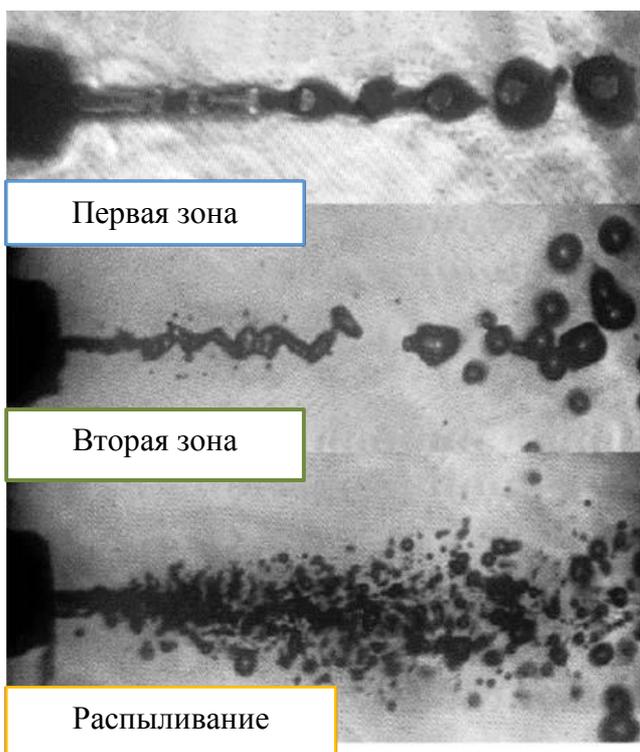


Рис. 1. Зоны распада струи топлива [4].

Во время первичного распада вблизи отверстия форсунки, внутреннее (ядро) струи топлива распадается на крупные капли и группы капель [4]. В этой зоне, большое количество топлива, находится в жидкой фазе. Во второй зоне, происходит интенсивное испарение топлива и под воздействием действующих силы аэродинамического сопротивления струя разбивается на отдельные капли, происходит вторичный распада топливной струи и капель большого диаметра [5]. Кроме того, температура окружающего воздуха вызывает ускорение процесса испарения топлива. На распад струи главным образом влияет скорость истечения топлива и плотность среды, куда происходит истечение; в меньшей степени влияет турбулентность струи топлива.

Распад и дробление струи на капли является сложным процессом в котором решающую роль играют силы: инерции, вязкости и поверхностного натяжения. Соотношение этих сил могут быть выражены с помощью двух безразмерных величин, характеризующих процесс распада струи жидкого топлива на капли:

$$\text{Рейнольдса} \quad Re = (V \cdot D) / \nu \quad (1)$$

$$\text{Вебера} \quad We = (\rho_r \cdot V^2 \cdot d_0) / \sigma \quad (2)$$

где:

D – внутренний диаметр сопла форсунки,

d_0 – диаметр капли,

V – скорость потока жидкого топлива,

ν – кинематическая вязкость жидкого топлива.

ρ_r – плотность окружающего газа,

σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

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

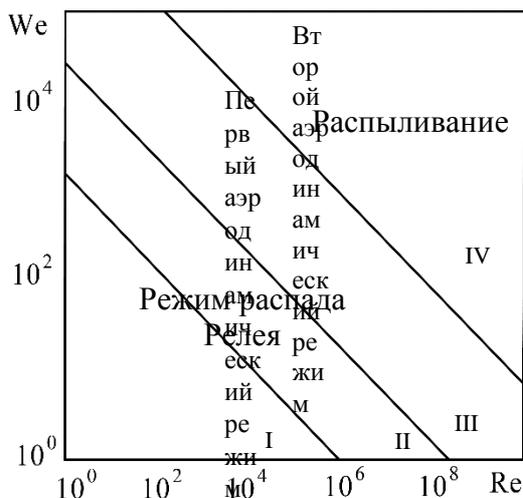


Рис. 2. Режимы распада струи топлива

Первый режим (распада Релея) выражен капиллярным распадом струи топлива – нарушение равновесия сил инерции и поверхностного натяжения ($We > 4$) вызывает развитие осесимметричных колебаний формы струи с относительно большой длиной волны – $\lambda/D = 4,5$ (рис. 3, а) что приводит к ее распаду на капли, имеющие диаметр d_0 :

$$d_0 = 1,89 \cdot D \quad (3)$$

На движущуюся каплю существенное влияние имеет силовое взаимодействие с газовым потоком, вызывая ее деформацию и вторичный распад (рис. 3, II). При таких параметрах качество распыления топлива низкое, так как струя распадается на существенном расстоянии от сопла форсунки и полученные капли имеют большой диаметр.

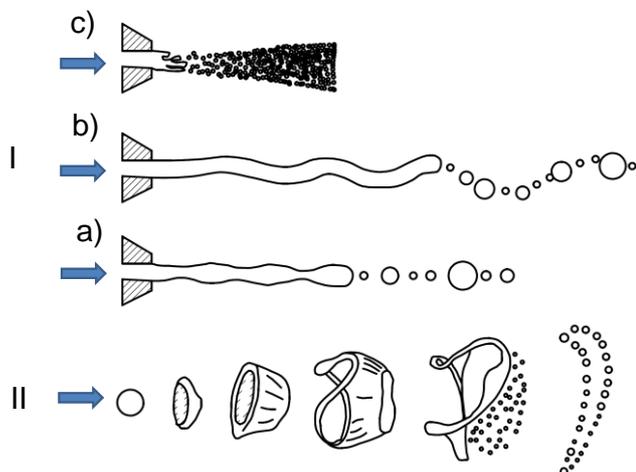


Рис. 3. Распад струи топлива: I) первичный распад

(давление впрыска возрастает от а до с) II) вторичный распад капли

Слабое аэродинамическое воздействие газа на струю топлива наблюдается при втором режиме распада струи (рис. 2). Струя распадается вследствие быстрого развития односторонних волнообразных колебаний. Третий режим характеризуется сильным аэродинамическим воздействием газа на струю топлива, что приводит к уменьшению размера капель (рис. 3, b). Распыливание топлива наблюдается при большой скорости струи, при больших разнице давления впрыска и противодействия, 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. 3,с).

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. 4. 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 [5]. 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.

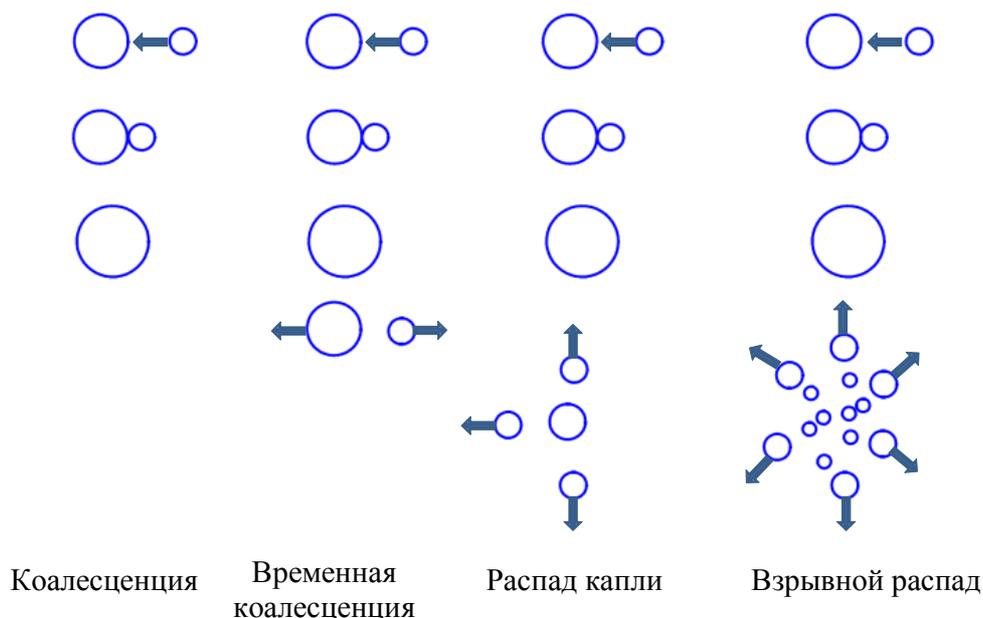


Рис. 4. Механизм взаимодействия капель в потоке топлива

Выводы: На распад струи главным образом влияет скорость истечения топлива и плотность среды, куда происходит истечение; в меньшей степени влияет турбулентность струи топлива. Представленная в данной статье

физическая картина распада струи позволяют определить пути целенаправленного воздействия на процесс распыливания топлива, обеспечивающего высокое качество смесеобразования и сгорания в двигателях с искровым зажиганием и системой непосредственного впрыска. Тем самым воздействовать на энергетические и экологические показатели ДВС.

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. Bayvel L.; Orzechowski Z.: Liquid Atomization. Taylor & Fransis, 1993.
3. 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.
4. Maslennikov D.: Badawcza identyfikacja właściwości systemu spalania z bezpośrednim wtryskiem paliwa i zapłonem iskrowym. 149 s. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, 2012 DrOIN 1457.
5. Ohnesorge, W.: Formation of drops by nozzles and the breakup of liquid jets. W: Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Band 16, 1996.