

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСТРУЙНОГО ВПРЫСКА ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Обычно инжекторы с несколькими отверстиями обеспечивают более эффективный способ распыла топлива. Они способствуют уменьшению времени впрыска топлива, длины проникновения и повышению качества топливно-воздушной смеси с достаточной однородностью паров, что является наилучшими условиями процесса. Инжекторы с множественными отверстиями являются очень сложными из-за близко расположенных распыленных факелов, природа которых, как правило, очень непредсказуема при высоких нагрузках. Эта отличительная черта близко расположенных факелов, которое приводит к их взаимодействию, а также известное как явление струи-на-струи, до сих пор тщательно не изучена. Кроме того при высоких температурах взаимодействие струи-на-струи трудно поддается управлению и может вызвать распад целой струи.

Процесс сгорания в дизельном двигателе отличается от процесса в двигателе с искровым зажиганием степенью сжатия и процессом воспламенения. В целом, процесс сгорания топлива в дизельном двигателе можно описать как три последовательных процесса: задержка воспламенения, сгорание предварительно приготовленной смеси и сгорание с контролем смесеобразования. Задержка воспламенения относится к периоду времени между началом подачи топлива и началом фактического процесса сгорания. В основном она определяется температурой в цилиндре, давлением в цилиндре и воспламенением топлива. На стадии задержки воспламенения происходят процессы смесеобразования и первых, предварительных химических реакций топливовоздушной смеси. Задержка воспламенения увеличивается, когда двигатель не прогрет, или при использовании топлива плохого качества с низким цетановым числом.

В целом камеры сгорания дизельного двигателя можно разделить на несколько типов:

- системы с предкамерой: в системе с предкамерой используемой для легковых автомобилей, топливо впрыскивается в горячую предкамеру (дополнительную камеру). Здесь начинается дополнительное воспламенение, чтобы достичь образования качественной смеси и уменьшения задержки воспламенения основного процесса сгорания;
- система с вихревой предкамерой: в этой системе, используемой в дизельных двигателях легковых автомобилей, сгорание также начинается в дополнительной камере. В процессе сгорания используется дополнительная камера сгорания в форме шара или диска (вихревая камера) с поверхностью горловины, расположенной тангенциально к основной камере сгорания;
- система с непосредственным впрыском: в системах с непосредственным впрыском, образование смеси обходится без дополнительной вихревой камеры. Топливо впрыскивается непосредственно в камеру сгорания в днище поршня.

На современных двигателях впрыск топлива полностью вытеснил карбюраторную систему питания. Но при этом, среди автопроизводителей до сих пор нет единого мнения, какая система впрыска предпочтительней, поскольку каждая из них обладает своими достоинствами и недостатками.

Многоструйный впрыск отличается от предыдущей схемы тем, что в данном случае во впускном патрубке каждого цилиндра установлена индивидуальная форсунка, которая подает топливо прямо на впускной клапан. Таким образом, топливная смесь готовится непосредственно перед подачей в камеру сгорания. Поэтому она получается однородной по своему составу и примерно одинакова по качеству для каждого из цилиндров. В результате, это благотворно сказывается на мощности и экономичности мотора, а также на токсичности выхлопных газов [190].

Распределенный многоструйный впрыск постоянно совершенствовался. Поначалу он, также как и предыдущая схема, управлялся механическим путем. Но бурное развитие электроники позволило не только сделать систему питания более эффективной, но и скоординировать ее действия с другими компонентами двигателя. Поэтому современный мотор может не только сигнализировать водителю о неисправности, но даже в случае необходимости перейти на аварийный режим работы или исправить некоторые ошибки в пилотировании в сотрудничестве с системами безопасности.

Увеличенная фотография инжектора с системой двухструйного впрыска. С помощью экспериментальных данных невозможно сделать определенные выводы по улучшению дизайна инжекторов. Тем не менее, методы моделирования, которые достаточно быстро развиваются в эти дни, могут обеспечить более глубокое понимание поставленных задач.

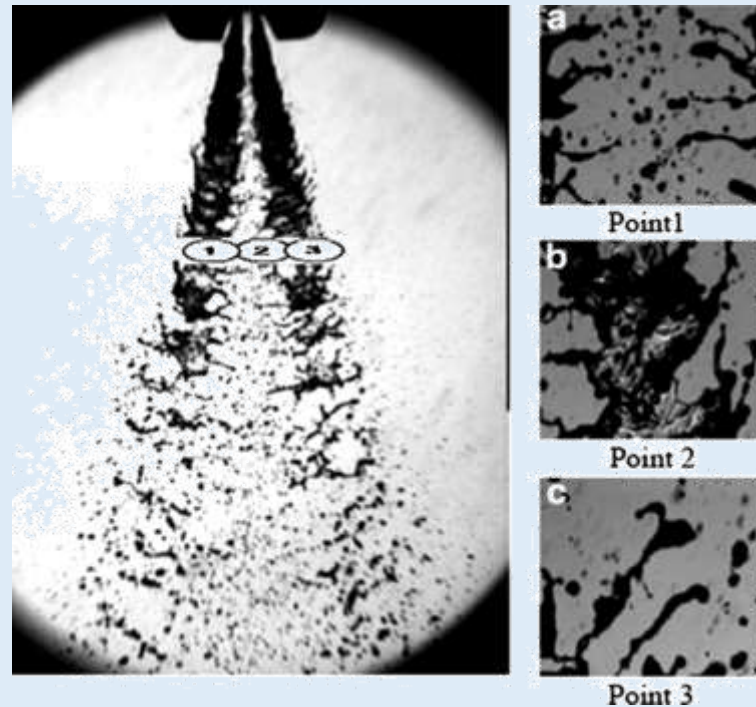


Рисунок 1 - Увеличенная структура двухструйного впрыска в инжекторных системах подачи топлива

Моделировании многоструйного впрыска жидкого топлива в двигателях внутреннего сгорания по методу распыла Лагранжа жидкость впрыскивается в форме капель, имеющих предположительно средний размер, сравнимый с диаметром выходного отверстия сопла. Капли впрыскиваются в область, где выполняется распределение Розина – Раммлера, которое описывается следующим выражением:

$$d_{p_0} + d_p (-\ln(1 - n_{rand} k_R))^{-q}$$

где k_R определяется

$$k_R = 1 - \exp\left(-\frac{(d_{p_{max}} - d_{p_0})^q}{\langle d_p \rangle}\right)$$

n_{rand} является случайным числом,

d_{p_0} - минимальный диаметр,

$d_{p_{max}}$ - максимальный диаметр

$\langle d_p \rangle$ - средний диаметр капель.

Коэффициент разброса распределения определяется через q

Результаты вычислительных экспериментов по многоструйному впрыску и сравнение с экспериментальными данными

Численного моделирования многоструйного впрыска, в ходе которого были определены размеры впрыскиваемых капель трехструйного и шейстиструйного впрысков жидких топлив.

При численном моделировании для газовой фазы была использована $k - \varepsilon$ модель турбулентности, модель турбулентности, а для моделирования жидкой фазы применялся метод Лагранжа.

Численными исследованиями для сравнения представлены результаты экспериментов многоструйного впрыска, которые были получены учеными из университета Лафборо (Англия), специализирующимися в области теплофизики и моделирования двухфазных течений.

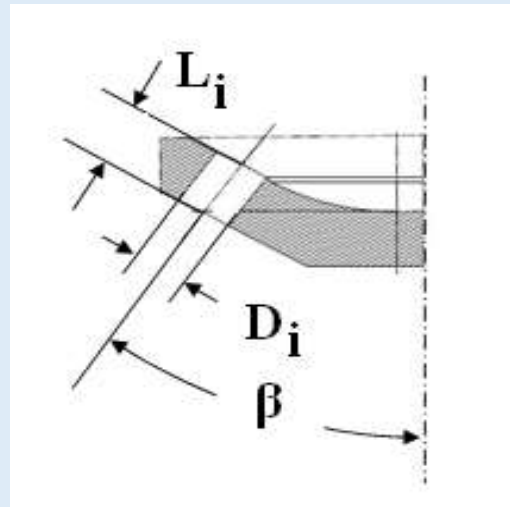


Рисунок 2 - Модель многоструйного инжектора двигателя внутреннего сгорания

Основные параметры многоструйных инжекторов представлены в Таблице 1

Многоструйный инжектор	β	L_i/D_i , мм	Q_s , Г/с
трехструйный	38°	$L_i/D_i = 0,221 / 0,200 = 1,1$	5,7
шестиструйный	23°	$L_i/D_i = 0,224 / 0,200 = 1.1$	11,4

Функция логнормального распределения определяется следующим образом:

$$pdf = \frac{1}{d_p S_{td} \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(\ln(d_p) - M_n)^2}{2S_{td}^2} \right]}$$

где M_n - среднее отклонение и S_{td} - стандартное отклонение, которые были скорректированы эмпирически, чтобы они наилучшим образом вписывались в экспериментальные и численные данные.

В нашем случае значения M_n и S_{td} были равны 1,85 и 0,5, соответственно. Теперь запишем распределение Розина-Раммлера в упрощенном виде:

$$pdf = q \langle d_p \rangle^{-q} d_p^{q-1} e^{-\left(\frac{d_p}{\langle d_p \rangle} \right)^q}$$

Таблица 2 – Начальные условия для проведения численного эксперимента

Условия и вид эксперимента	Вид инжектора	Давление впрыска (P_i , бар)	Начальная температура топлива (T_f , К)	Давление в камере сгорания (P_c , бар)	Температура в камере сгорания (T_c , К)	Продолжительность времени впрыска (мс)	Общая масса впрыска (мг)	Вид топлива
При отсутствии испарения	3-струйный	100	293,15	1	293,15	2	15	бензин
При испарении	3-струйный	200	363,15	1,54	306,15	3,32	24,9	изооктан
При испарении	6-струйный	200	363,15	1,54	306,15	3,387	49,8	изооктан

На расстоянии 40 мм от сопла инжектора вниз по течению средний размер капель в эксперименте уменьшился до 5,89 мкм, в то время как при численном моделировании он достиг значения 6,55 мкм.

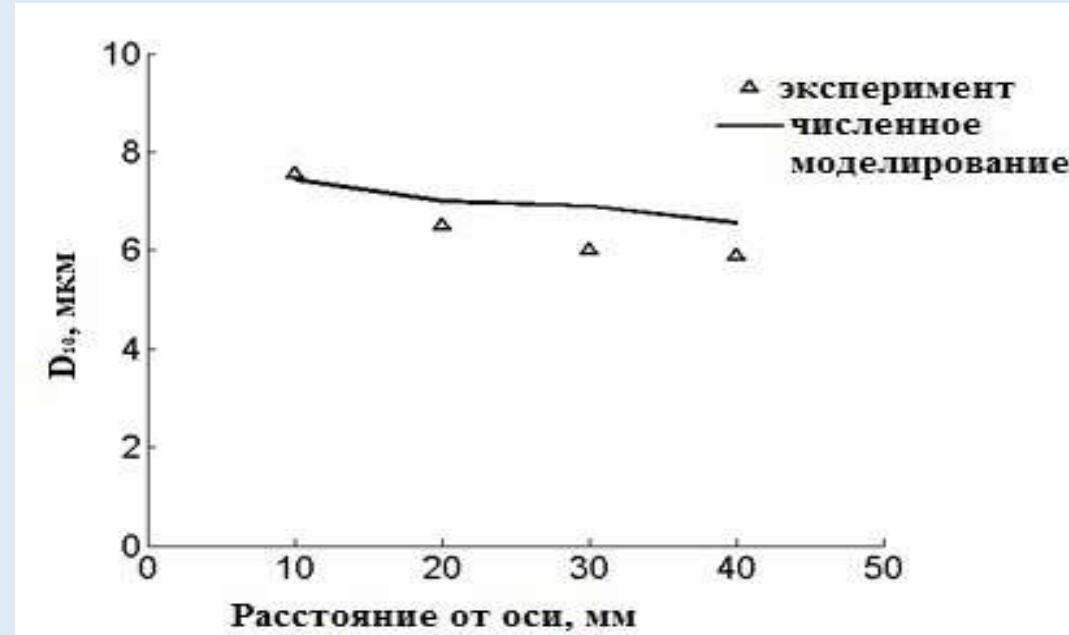


Рисунок 3 - Распределение среднего диаметра капель при различных расстояниях от сопла инжектора для трехструйного впрыска

Длины осевого проникновения трехструйного и шестиструйного впрысков в неподвижную область газа. Как видно из рисунка, обе струи в одинаковой степени проникают в неподвижную среду, хотя и геометрии сопел трехструйных и шестиструйных инжекторов значительно отличаются друг от друга.

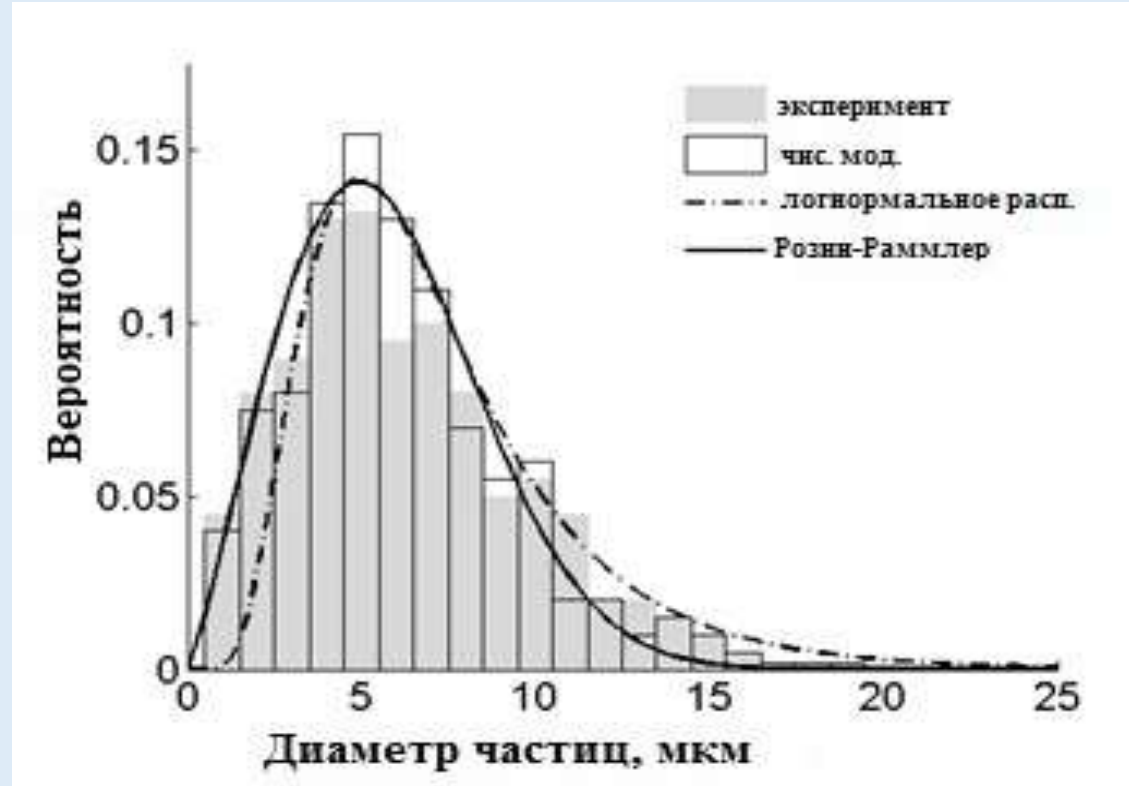


Рисунок 4 - Функция вероятности распределения капель по размерам при 40 мм осевого расположения