

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ  
РАБОТЫ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ  
НА АКТИВИРОВАННОМ ТОПЛИВЕ**

Г. П. ШИШКИН, канд. пед. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Кировский ГМУ Минздрава России»,  
Киров, Российская Федерация

М. В. МОТОВИЛОВА, аспирантка  
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,  
Киров, Российская Федерация

В процессе эксплуатации двигателя значительное внимание уделяется вопросам его экономичной работы, эмиссии отработавших газов в окружающую среду, а также вопросам работы топливоподающей аппаратуры [3].

В процессе работы дизельного двигателя имеет значение качество применяемого топлива, его состав, предварительная подготовка и его взаимодействие с ТПА [5, 6, 7]. Оказание дополнительного воздействия на топливо положительно сказывается на его физико-механических свойствах, а также на рабочем процессе дизеля [5, 6, 7].

Одним из эффективных способов активации дизельного топлива является передача ему тепла в самой системе топливоподдачи перед форсункой. За счет высокотемпературного локального воздействия на топливопровод высокого давления не происходит нагрев остальных элементов системы питания. Объем смеси, равный объему цикловой подачи, быстро прогревается. Вязкость топлива и его плотность при этом снижаются [6].

При применении дизельного топлива с измененными физическими свойствами процесс смесеобразования может происходить несколько иначе. В современных системах питания дизельных двигателей жидкое топливо подается к форсунке под давлением и через распылители впрыскивается в камеру сгорания.

Эффективность процесса сгорания в дизельном двигателе зависит от однородности и тонкости распыливания топлива и его распределения по всему объему камеры сгорания.

Качество распыливания топлива определяется конструкцией форсунки (распылителя), давлением впрыска, плотностью воздуха и свойствами самого топлива – вязкостью и поверхностным натяжением.

Тонкость распыливания топлива характеризуется величиной среднего диаметра капли топлива, а однородность – предельными отклонениями диаметра капель топлива от среднего значения [4].

В процессе впрыскивания топлива формируется факел распыливания. Факел распыливания рассматривают как конус с вершиной у отверстия распылителя. Факел распыливания характеризуется макроскопическими и микроскопическими параметрами. К макроскопическим параметрам факела можно отнести: длину (дальнобойность струи), угол распыливания, диаметр капель топлива, однородность.

Значения макроскопических параметров факела зависят от ТПА и свойств самого топлива. Дальнобойность струи и угол распыливания определяют объем, занимаемый топливно-воздушной смесью в камере сгорания.

При работе дизельной топливной аппаратуры на активированном топливе коэффициент поверхностного натяжения и вязкость топлива уменьшается с повышением температуры. В результате впрыска происходит мелкодисперсное распыление топлива. Скорость нагрева капли топлива ускоряется, процесс испарения идет интенсивнее, топливно-воздушная смесь становится более однородной.

Распад капель в топливном факеле происходит до тех пор, пока число Вебера превышает критическое значение. Число Вебера определяется как отношение сил инерции к силам поверхностного натяжения [4]:

$$W_e = \frac{\rho \cdot d \cdot V}{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность газовой среды;

$d$  – диаметр капли;

$V$  – скорость струи жидкости в газовой среде;

$\sigma$  – поверхностное натяжение топлива.

Дизельное топливо – это многокомпонентная жидкость, состоящая из парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов с присутствием ряда химических элементов. За счет активации топлива поверхностное натяжение и вязкость ДТ уменьшается.

Часть алкановых и нафтеновых углеводородов легко окисляется при повышении температуры до 300 °С, но имеющие в своем строении разветвленную структуру алкановые углеводороды обладают устойчивостью к окислению при высоких температурах. Ароматические углеводороды имеют самую высокую термическую стойкость к окислению.

В составе ДТ присутствует часть углеводородов (алканы, цикланы), у которых критическая температура перехода из жидкой фазы в газообразную находится в пределах 300 °С и коэффициент поверхностного натяжения при данных температурах резко уменьшается. При активации топлива до данной температуры происходит испарение (вскипание) наиболее легкокипящих компонентов ДТ и образуется облако

пара. Факел в своей структуре имеет жидкие капли топлива и газообразную фракцию.

Изменение плотности топлива от температуры некоторыми авторами оценивается по эмпирическому соотношению:

$$\rho_t = \rho_0 - (1,8 - 0,0013\rho_0)(t - t_0), \quad (2)$$

где  $\rho_t$  – плотность топлива при активации;

$\rho_0$  – плотность топлива при нормальных условиях;

$t_0$  – температура при начальных условиях;

$t$  – текущая температура активации.

При подаче активированного топлива увеличивается угол распространения факела. Это приводит к мелкодисперсному распыливанию в камере сгорания. Скорость нагрева капель увеличивается. Это объясняется тем, что суммарная площадь распавшихся капель увеличивается.

Угол распространения факела топлива можно вычислить по следующей формуле [8]:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = 0,13 \left[ 1 + \left( \frac{\rho}{\rho_t} \right) \right], \quad (3)$$

где  $\rho_t$  – плотность активированного топлива;

$\rho$  – плотность топлива при нормальных условиях;

$\theta$  – угол распространения факела.

Топливный факел не имеет четко выраженной поверхности. Одним из подходов к определению угла распространения факела является нахождение его через арктангенс как отношение наибольшего диаметра факела к его дальности:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{d}{s}, \quad (4)$$

где  $d$  – наибольший диаметр факела распыливания;

$s$  – расстояние от распылителя до наибольшего диаметра факела;

$\theta$  – угол распространения факела.

В конструкции дизельной форсунки предусмотрено несколько распылителей. Их количество подобрано таким образом, чтобы при максимальной цикловой подаче топлива до начала воспламенения не происходило соприкосновение и наложение факелов топлива. В итоге могут образоваться зоны, переобогащенные топливоздушной смесью, что ухудшает процесс сгорания топлива и увеличивает содержание сажи и токсических веществ в отработавших газах [4].

Работа дизельной топливной аппаратуры на активированном топливе должна обеспечить все необходимые геометрические параметры топливного факела. Помимо угла распространения факела, важным

параметром является глубина проникновения струи. При активированном топливе (мелкодисперсное распыливание) возникающие силы сопротивления в цилиндре двигателя приводят к уменьшению дальности струи топлива. На распространение струи оказывают влияние параметры самого распылителя, давление форсунки, а также давление, плотность, температура среды в камере сгорания.

Одним из важных показателей для расчета дальности струи является скорость подачи топлива в цилиндр двигателя.

Скорость струи топлива можно определить из выражения [4].

$$W = \varphi \frac{2 \cdot (\rho_T - \rho_{np})}{\rho_T}, \quad (5)$$

где  $\rho_T$  – плотность топлива перед распылителем;

$\varphi$  – скоростной коэффициент (0,7–0,8);

$\rho_T$  – давление топлива перед распылителем;

$\rho_{np}$  – давление топлива в камере сгорания;

$W$  – скорость струи жидкости в газовой среде.

Для расчета дальности струи авторы многих научных работ приводят различные зависимости. Некоторые зависимости получены по результатам математических расчетов и экспериментальных исследований.

Для нахождения глубины проникновения факела до момента распада его ядра могут быть использованы зависимости, предложенные М. Araí и М. Tabaia, исходя из значений давления перед распылителем форсунки. В общем виде зависимость может быть представлена следующим образом [4, 9]:

При  $0 < t < t_b$  дальность распространения топливной струи определяется:

$$s = 0,39 \left( \frac{2\Delta P}{\rho_T} \right)^{0,5} t, \quad (6)$$

где  $\rho_T$  – плотность топлива перед распылителем;

$\Delta P$  – разность между давлением перед распылителем и противодавлением в камере сгорания;

$t$  – время от начала впрыска;

$t_b$  – время до начала распада топливной струи;

$s$  – дальность распространения топливной струи.

При  $t > t_b$

$$s = 2,95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0,25} (d_p \cdot t)^{0,5}, \quad (7)$$

где  $\rho_a$  – плотность заряда в камере сгорания;

$\Delta P$  – разность между давлением перед распылителем и противо-  
давлением в камере сгорания;

$t$  – время от начала впрыска;

$d_p$  – диаметр распылителя;

$s$  – дальность распространения топливной струи.

При использовании активированного дизельного топлива возможны изменения некоторых показателей ТПА. При определении всех показателей и оценке параметров проводятся испытания ТПА в соответствии с действующими ГОСТами.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. При активации дизельного топлива до температуры и подачи его в цилиндры двигателя условия смесеобразования не ухудшаются. ТПА позволяет применять активированное топливо, а термическое воздействие на рабочий процесс дизельного двигателя действует положительно.

2. При активации топлива за счет улучшения условий сгорания топливо сгорает при максимальном количестве выделенной теплоты.

3. Возможно снижение эмиссии отдельных токсических компонентов в отработавших газах за счет лучшего смесеобразования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов, А. К. Конструкция тракторов и автомобилей / А. К. Болотов, А. А. Лопарев, В. И. Судницын. – М.: Машиностроение, 2006. – 304 с.

2. Николаенко, А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А. В. Николаенко. – М.: Колос, 1984. – 335 с.

3. Плотников, С. А. Улучшение эксплуатационных показателей дизелей путем создания новых альтернативных топлив и совершенствования топливоподающей аппаратуры: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Плотников. – Нижний Новгород: НГТУ, 2011. – 40 с.

4. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени / Н. А. Чигир [и др.]. – М.: Машиностроение, 1981. – 407 с.

5. Плотников, С. А. Анализ процесса сгорания и тепловыделения тракторного дизеля с термической подготовкой топлива / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, А. Л. Бирюков // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – № 3 (27). – С. 114–124.

6. Плотников, С. А. Исследование работы дизельной ТПА на высокоактивированном топливе / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова // Транспортные системы. – 2019. – № 1 (11). – С. 12–18.

7. Плотников, С. А. Исследование показателей работы дизеля с термофорсированием / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, В. Ф. Атаманюк // Вестник Марийского государственного университета. – 2015. – С. 39–43.

8. Плотников, С. А. Влияние состава спиртосодержащего топлива на показатели процесса топливоподачи / С. А. Плотников, С. Н. Гущин, С. Р. Лебедев // Двигателестроение. – 2004. – № 3. – С. 43–45.

9. <http://mirmarine.net/dvs/toplivnye-sistemy/pokazateli-raboty-toplivnoj-apparatyry-sovremennykh-dizelej/> 416-protsess-vpryska-i-raspylivaniya-topliva.