

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ДИЗЕЛЯ

М. В. МОТОВИЛОВА¹, зав. лабораторией
С. А. ПЛЮТНИКОВ¹, д-р техн. наук, профессор
Т. Х. СОДИКЗОДА¹, аспирант
Е. Г. ЗЫКОВ², инженер

¹Вятский государственный университет
²АО «АВД Моторс»,
Киров, Российская Федерация

Правительством РФ на основании распоряжения от 22.11.2008 № 1734-р утверждена транспортная стратегия на период до 2030 года, где отражена роль транспортной системы для обеспечения условий экономического роста, конкурентоспособности, экономики и качества жизни населения.

Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.02.2015 № 57-Ц сформулирована стратегия инновационного развития транспортного комплекса республики Беларусь до 2030 года, направленная на инновационное развитие транспортного комплекса, конкурентоспособности и удовлетворения потребностей экономики.

Действующие технические регламенты на территории России и Беларуси содержат требования, по ограничению концентрации вредных и твердых частиц в процессе эмиссии отработавших газов (ОГ). Данное требование относится к экологической безопасности.

Снижение экологической напряженности от силовых установок является одним из основных государственных приоритетов, определенных транспортной стратегией РФ и РБ. В соответствии с ГОСТР ИСО 14067-2021 (п. 3.1.3.10; 3.1.3.1) предусмотрен контроль энергии, поступающей в систему, а также контроль показателей энергии, выделяемой в окружающую среду аппаратными средствами (механическая часть двигателя) отработанных материалов (смазка, топливо).

Перед двигателестроением поставлена задача: при полноценном рабочем процессе обеспечить реализацию в двигателе высоких эксплуатационных показателей с одновременным сочетанием экологических нормативов при эмиссии ОГ.

Процесс полного сгорания топлива характеризуется совокупностью показателей, в том числе особенностями и свойствами используемого топлива, условиями и скоростью окисления углеводородов, условиями тепло- и массообмена в зоне пламени. Жидкое дизельное топливо, яв-

ляющееся смесью органических химических соединений преимущественно углерода и водорода под действием межмолекулярных сил взаимодействия, образует плотные углеводородные структуры. Углеводородные соединения достаточно стабильны за счет двойных и тройных связей циклоалканов и в начале процесса смесеобразования (испарения) молекулярному и атомарному кислороду затруднен доступ внутрь углеводородных, молекулярных групп [1]. Так как процесс сгорания продолжается 125–135 град. поворота коленчатого вала [2] это может привести к неполному сгоранию топлива и повышенной концентрации токсических показателей при эмиссии ОГ.

Действенным способом влияния на рабочий процесс является воздействие непосредственно на свойства дизельного топлива (ДТ). Результаты по экспериментальным данным проведенных исследований, теоретических расчетов как в РФ, так и за рубежом формируют несколько направлений воздействия на рабочий процесс. К способам влияния на жидкое ДТ можно отнести физическое и химическое воздействие. Под дополнительным воздействием топливо изменяет свои физико-химические свойства, влияющие на процесс сгорания, в том числе на экологические характеристики при эмиссии.

Добавляемые компоненты в ДТ должны хорошо диспергироваться. Одним из направлений по воздействию на рабочий процесс в цилиндре двигателя – использование влияния присадок нанометаллических оксидов на биметаллической основе (платина, железо, медь, церий, барий марганец, кальций).

Металлы реагируют с водой с образованием гидроксильных радикалов, что способствует усилению окисления сажи (С) или вступают в химическую реакцию с атомами углерода в саже с понижением температуры окисления. При этом термический суммарный оксид азота (NO_x) понижается. Данные по применению присадок на биметаллической основе приведены во многих научных работах [3–7]. Ограничением по воздействию является недостаточная стабильность, жесткость процесса сгорания, возможность появления применяемых химических веществ при эмиссии ОГ.

Коллектив ученых государственной ключевой лаборатории автомобильной безопасности и энергетики, университета Цинхуа, (Китай) [8] обосновал смешивание дизельного топлива с бензином разного октанового числа. При этом достигается эффект диапазона широкой перегонки (от начальной температуры кипения (ИВР) бензина до конечной температуры кипения (ФВР) дизельного топлива) для измене-

ния режима горения и уменьшении свойства низкой летучести дизельного топлива. Эмиссия ОГ имеет низкие выбросы углеводородов (НС) и экономию топлива при небольшом увеличении выбросов NO_x .

Специалистами инженерной школы индийского технологического института Манди, Индия [9] и Ченстоховского технологического университета, Польша [10] предлагается интенсифицировать рабочий процесс за счет введения водорода в дизельный двигатель. При данном способе воздействия наблюдается увеличение отношения Н/С всего топлива, эмиссия ОГ предполагает меньшее содержание диоксида углерода и сажи. Введение водорода в дизельное топливо (ДТ) снижает неоднородность распыливания из-за высокой диффузии водорода и высокой скорости распространения пламени по отношению к углеводородному. Хорошая однородность рабочей смеси обеспечивает лучшие условия для процесса сгорания, способствует быстрому высвобождению химической энергии. Оптимальное количество вводимого водорода не должно превышать 30 % от объема ДТ, иначе процесс сгорания идет с большой детонацией.

Многочисленные инженерные школы [11–13] работают в направлении использования водородного топлива в дизельных двигателях, при различных технологиях, способах введения водорода в ДТ для положительного воздействия на рабочий процесс в цилиндре двигателя. Экологические показатели при эмиссии оксида углерода, диоксида углерода и сажи в ОГ снижаются, а концентрация суммарного оксида азота (NO_x) уменьшается не значительно.

Интенсификация процесса сгорания является перспективным и актуальным направлением по оптимизации рабочего процесса. Процесс сгорания можно выразить через критерий испарения и выгорания [14]:

$$P_1 = \frac{a_T T_0 x}{\gamma T \rho u_0 r_0}; \quad P_2 = \frac{K^* C_0 x}{G_{T_0} \alpha_{O_2}} \left(\frac{u_0}{u} \right)^2, \quad (1)$$

где P_1 – критерий испарения;

P_2 – критерий выгорания;

a_T – суммарный коэффициент теплообмена с окружающей средой;

T_0 – температура воспламенения;

x – расстояние от сечения до начального вдоль оси потока;

γ_T – объемный вес жидкого топлива;

ρ – теплота испарения жидкого топлива;

r_0 – начальный радиус частиц жидкого топлива;

K^* – суммарная константа скорости реакции;

C_{O_2} – начальная концентрация кислорода;

G_{T_0} – начальный весовой расход топлива на единицу площади;

α_{O_2} – коэффициент избытка кислорода;

u_0, u – скорость потока в начальном и рассматриваемом сечениях.

Зависимость степени выгорания от степени испарения характеризуется отношением данных критериев. Для интенсификации процесса горения желательно сократить одну стадию смесеобразования (испарение), для смещения процесса в сторону сгорания паров ДТ. Существует множество способов передачи тепла топливу. Наиболее доступным и не требующего сложного конструктивного вмешательства в систему топливоподачи двигателя является предварительное термическое воздействие на топливо в системе высокого давления непосредственно перед форсунками.

Исследование теплового воздействия, особенности достижения теплового эффекта, подача ДТ, характер движения топлива через сопла форсунки рассматриваются во многих совместных работах научных коллективов [15, 16, 17], что дает основание полагать об отдельном направлении – предварительное тепловое воздействие на ДТ.

Зависимость начальной температуры топлива при впрыскивании на рабочие процессы двигателя и влияние предварительно подогретого топлива до высоких температур на эффективные и экологические показатели двигателя исследовались в ВятГУ [18–21]. Предложен способ интенсификации подготовительной фазы и фазы быстрого сгорания в дизеле, а также конструктивно-технологическое решение применения данного способа.

При реализации данного способа (влияние на рабочий процесс) достигается улучшение эксплуатационных и экологических показателей дизелей колесного трактора. Процесс сгорания активизируется и заканчивается раньше в результате изменения физико-механических и химических взаимодействий углеводородных соединений на стадии предпламенной подготовки ДТ (в зависимости от температуры активации топлива), условий формирования и смесеобразования рабочей смеси в двигателе. Изменяются геометрические показатели топливного факела и условия смесеобразования при изменении средних диаметров капли топлива.

Согласно проведенным исследованиям на базе лаборатории БГСХА кафедры «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства»

тракторного дизеля при работе на активированном топливе с использованием электротормозного стенда RAPIDO SAK N670 с установленным двигателем Д-245.5S2 получены результаты показателей дымности и токсических параметров в ОГ. При нагрузке, равной 0,96 МПа, значение углерода составляет 15 % и 14,5 % при работе дизельного двигателя с подогревом топлива по отношению к 18,3 % без подогрева. Показатели суммарных оксидов азота снижаются ввиду уменьшения средней температуры сгорания на 30–40 °С.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Влияние на рабочий процесс способствует полному сгоранию и улучшению экологических показателей в ОГ.

2. Результаты проведенных испытаний обосновывают возможность применения температурной активации дизельного топлива на стандартном двигателе Д-245.5S2 с измененными условиями смесеобразования и процесса сгорания.

3. Термическое влияние на ДТ способствует более полному сгоранию углеводородного топлива и уменьшению концентрации CO, CO₂, NO_x, C_mH_n и С при эмиссии ОГ, за счет изменения во времени отдельных фаз процесса сгорания ДТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ассад, М. С. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент / М. С. Ассад, О. Г. Пенязьков. – Минск: Бел. наука, 2010. – 305 с.
2. Кавтарадзе, Р. З. Теория поршневых двигателей / Р. З. Кавтарадзе – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 720 с.
3. Dhahad, H. A. The impact of adding nano-Al₂O₃ and nano-ZnO to iragi diesel fuel in terms of compression ignition engines' performance and emitted pollutants / H. A. Dhahad, M. T. Chaichan. // Thermal science and Engineering progress. – 2020. – № 18.
4. Venu, H. Effect of Al₂O₃ nanoparticles in biodiesel-diesel-ethanol blends at various injection strategies strategies: Performance, combustion and emission characteristics / H. Venu, V. Madhavan // Fuel. – 2016. – № 186. – P. 176–189.
5. Keskin, A. Influence of metallic based fuel additives on performance and exhaust emissions of diesel engine / A. Keskin, M. Gürü, D. Altıparmak // Energy conversion and management. – 2011. – № 52. – P. 60–65.
6. Lenin, M. A. Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nanofuel additive / M. A. Lenin, M. R. Swaminathan, G. Kumaresan // Fuel. – 2013. – № 109. – P. 362–365.
7. Lokesh, N. Enhancement of diesel fuel properties: Impact of cerium oxide nano additives on diesel engine performance and emissions / N. Lokesh, T. Shaafi // Materials Today: Proceedings. – 2020. – P. 1–7.
8. Liu, H. Effects of gasoline research octane number on premixed low-temperature combustion of wide distillation fuel by gasoline/diesel blend / H. Liu, J. Wang, X. He // Fuel. – 2014. – № 1134. – P. 381–388.

9. Nag, S. Combustion, vibration and noise analysis of hydrogen-diesel dual fueled engine / S. Nag, A. Gupta, P. Sharma, A. Dtul // Fuel. – 2019. – P. 488–494.
10. Szwaja, S. Hydrogen combustion in compression ignition diesel engine / S. Szwaja, K. Grab-Rogalinski // HydroGen Entrgy. – 2009. – Nr. 34. – P. 4413–4421.
11. Experimental analysis on the performance, combustion/emission characteristics of a DI diesel engine using hydrogen in dual fuel mode / R. A. Bakar [et al.] // International journal of hydrogen energy. – 2022.
12. Nag, S. Hydrogen-diesel co-combustion characteristics, vibro-acoustics and unregulated emissions in EGR assisted dual fuel engine / S. Nag, A. Dhar, A. Gupta // Fuel. – 2022. – Volume 307. – P. 121925.
13. Experimental evaluation of hydrogen enrichment in a dual-fueled CRDI diesel engine / S. Das, S. Kanth, B. Das, S. Debbarma // International journal of hydrogen energy. – 2022. – Volume 47, Issue 20. – P. 11039–11051.
14. Иванов, В. М. Влияние подогрева жидкого топлива на процессы его горения и переработки / В. М. Иванов, В. П. Новиков, И. В. Радовицкий // Новые методы сжигания топлива и вопросы теории горения. – Москва: Наука, 1969. – С. 65–74.
15. Specific features of diesel fuel supply under ultra-high pressure / J. Zhao [et al.] // Applied Thermal Engineering. – 2020. – № 179.
16. Preferential cavitation and friction-induced heating of multi-component Diesel fuel surrogates up to 450MPa / A. Vidal [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2021. – Nr. 166.
17. Храмов, М. Ю. Улучшение характеристик двигателя путем термофорсирования топлива / М. Ю. Храмов, М. Х. Садеков // Вестник АГТУ. – 2007. – № 6 (41). – С. 83–86.
18. Плотников, С. А. Оценка показателей процесса сгорания и тепловыделения в дизеле с предварительным подогревом топлива / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, М. В. Мотовилова // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 3. – С. 349–363.
19. Плотников, С. А. Исследование показателей работы дизеля с термофорсированием / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, В. Ф. Атаманюк // Сельскохозяйственные науки. – 2014. – С. 39–43.
20. Плотников, С. А. Анализ процесса сгорания и тепловыделения тракторного дизеля с предварительной термической подготовкой топлива / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, А. Л. Бирюков // Молочнохозяйственный вестник. – 2014. – № 3. – С. 114–124.
21. Плотников, С. А. Исследование работы дизельной ТПА на высокоактивированном топливе / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова // Транспортные системы. – 2019. – С. 12–18.

Аннотация. Интенсификация процесса сгорания достигается за счет сокращения стадий нагрева и испарения при предпламенной подготовке топлива. Результаты испытаний обосновывают применение температурной активации дизельного топлива на стандартном двигателе Д-245.5S2 с измененными условиями смесеобразования и процесса сгорания. Термическое влияние на топливо способствует процессу сгорания и уменьшает концентрацию CO, CO₂, NO_x, C_xH_y и сажи при эмиссии ОГ.

Ключевые слова: экологические показатели, дизель, рабочий процесс, эмиссия, отработавшие газы.