

УДК 621.43–44:629.424.1

В. М. ОВЧИННИКОВ, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией "Экология на транспорте", В. В. СКРЕЖЕНДЕВСКИЙ, аспирант кафедры "Тяговый подвижной состав", Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

К ВОПРОСУ ОБ УЛУЧШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Анализируется механизм внутрикапельного распыла водотопливной эмульсии в камере сгорания дизельного двигателя. Подвергается сомнению гипотеза о кипении дисперсной фазы (воды). Авторы считают, что в силу малого диаметра капель эмульсии значительную роль играют силы поверхностного натяжения. Согласно данным анализа дополнительное дробление капель эмульсии происходит в результате резкого повышения внутреннего давления жидкости.

Не в первый раз человечество переходит с одного источника энергии на другой. Ранее эти переходы происходили главным образом благодаря тому, что становился доступным более удобный и дешевый вид энергии. Сейчас мы вынуждены искать замену нефти не только потому, что испытываем ее нехватку, но и из-за тотального загрязнения окружающей среды в результате разработки месторождений, транспортировки и сжигания нефтяных топлив многочисленными транспортными двигателями.

Поэтому как никогда остро стал вопрос о снижении потребления ископаемого топлива и уменьшения количества токсичных веществ, выбрасываемых транспортными двигателями.

Во всем мире идет интенсивный поиск альтернативных топлив и силовых установок для транспорта. Так, например, в США и Западной Европе ведутся интенсивные исследования по созданию электромобиля. Неоднократно предпринимались попытки использовать комбинированные и рекуперативные двигатели как на электрических, так и на маховичных накопителях энергии. Страны Латинской Америки в силу специфических природных условий довольно успешно пытаются применять взамен ископаемого топлива этиловый спирт, получаемый из сахарного тростника. Европейские страны возлагают большие надежды на рапсовое масло как альтернативу дизельному топливу.

Практически одновременно с появлением двигателей внутреннего сгорания (ДВС) изобретатели пытались использовать воду в качестве присадки к топливу. Вода вводилась в цилиндры сначала только бензиновых двигателей с целью предотвращения детонации, увеличения степени сжатия при форсировании ДВС, приспособления их к работе на низкосортных топливах, затем стала использоваться и в дизелях, в основном, для улучшения их экологических качеств.

В настоящее время эти работы получили "второе дыхание" и считаются весьма перспективным на-

правлением улучшение качества сгорания топлива в дизельных двигателях. Принципиально вода может вводиться в камеру сгорания либо отдельно от топлива, например путем впрыска во впускной трубопровод, либо в его составе посредством растворения воды в энергоносителе или создания эмульсии. Эмульсией называется дисперсная система, состоящая из двух нерастворяющихся друг в друге жидкостей (вода, дизельное топливо), одна из которых (дисперсная фаза) распределена в виде мелких частиц в другой (дисперсионной среде). Как показала практика, в качестве дизельного топлива эмульсии типа "вода-масло" (дисперсная среда – топливо, дисперсная фаза – вода) предпочтительнее.

Согласно исследованиям, проведенным в различных странах мира, добавка к дизельному топливу от 15 до 20 % воды снижает расход топлива при сохранении на том же уровне эффективных показателей; уменьшаются образование и выброс оксидов азота, сажи, канцерогенных углеводородов, максимальные температуры и давления газов в цилиндрах, при определенных условиях – жесткость работы, теплонапряженность деталей двигателя.

Основные положительные эффекты от применения водотопливных эмульсий (ВТЭ) связывают с улучшением смесеобразования, чаще всего объясняемым вторичным внутрикапельным распылом. Несмотря на большой объем накопленного экспериментального материала, механизм этого процесса до сих пор не выявлен. Практически нет достоверных физических, а тем более математических моделей смесеобразования при питании дизелей эмульсиями. Авторы многих работ дают различные, зачастую взаимоисключающие, трактовки. В то время как понимание эффектов, возникающих при использовании ВТЭ, крайне необходимо как при проектировании новых двигателей, так и для эффективного совершенствования дизелей, находящихся в эксплуатации.

Остановимся более подробно на механизме внутрикапельного распыла. Некоторые исследователи

полагают, что впрыснутая ВТЭ ведет себя следующим образом: под воздействием высокой температуры в камере сгорания включения воды в каплях эмульсии вскипают и разрывают “оболочку” из минерального топлива. Таким образом происходит дополнительное дробление капель дизельного топлива.

Попробуем ответить на вопрос: может ли вода, заключенная в топливную оболочку, кипеть? В условиях политропного сжатия рабочего заряда в дизелях при $n_1 = 1,32 \dots 1,37$, $p_c = 3 \dots 9$ МПа, $T_c = 700 \dots 1100$ К и критических значений термодинамических показателей состояния воды $p_{кр} = 22,129$ МПа, $T_{кр} = 641$ К, $v_{кр} = 0.00326$ м³/кг на первый взгляд кажется, что да. Однако этот вывод справедлив только для свободного кипения жидкости. В анализируемом случае мы имеем дело с другой термодинамической системой – находящейся в газовой среде каплей жидкого топлива с водяными включениями. Количество подведенного тепла согласно первому началу термодинамики

$$dQ_v = dU_v + P_v dV_v. \quad (1)$$

При этом работа расширения PdV определится законом изменения объема

$$V = V_0(1 + \beta(T - 273)), \quad (2)$$

где β – коэффициент объемного расширения, К⁻¹.

В силу того, что значения β в интервале температур $T = 273 \dots 373$ К для нефтепродуктов и воды лежат в пределах от $3 \cdot 10^{-4}$ до $12 \cdot 10^{-4}$ К⁻¹, можно считать процесс нагрева водяных капель изохорным, и

$$dQ = c_{vв} dT_v. \quad (3)$$

Капля перегревается без испарения. Будет интенсивно расти внутреннее давление, величина которого выражается формулой

$$\overline{P}_{вн} = T(\delta P / \delta T)_{v-p_a}. \quad (4)$$

Например, для испарения воды в воздухе при $T = 323$ К $(\delta P / \delta T)_v = 1,006$ МПа, а нагрев только на величину $\Delta T = 10$ К увеличивает давление на

$$\Delta p_v = 323 \int^{333} (\delta P / \delta T)_v dT_v, \quad (5)$$

$$\Delta p_v = 1,006 \cdot 10 = 10,06 \text{ МПа}.$$

Тогда при $p_a = 0,098$ МПа

$$p_{вн} = 323 \cdot 1,006 - 0,098 = 325 \text{ МПа}.$$

Отсюда следует, что фактором, определяющим “микровзрывы”, является внутреннее давление, которое разрывает капли распыленной ВТЭ. Сразу по-

Получено 12.09.98

V.M. Ovchinnikov, V.V. Skrezendevsky. Improvement of environmental characteristics of diesel fuel: state of the air.

Mechanism of intradropping atomization of fuel-aqueous emulsion in diesel engine combustor is analysed. The authors cast doubt on hypothesis of water disperse phase boiling. They hold that because of small diameter of emulsion drops a surface tension stresses are of importance. According to analysis performed an additional crushing of emulsion drops is the result of liquid internal pressure rise.

сле разрыва капли перегретая вода практически мгновенно превращается в пар.

Проанализируем нагрев капли эмульсии при $T_a = idem$ и $p_a = idem$.

В сферической капле дизельного топлива (дисперсной среде) диаметром D_c концентрически расположена сферическая капля дисперсной фазы (воды) диаметром D_ϕ . Температуры среды и фазы в начальный момент времени $T_{\phi_0} = T_\infty = T_o = T_{\infty_0}$, где индекс “о” обозначает начало процесса.

Используя уравнение Лапласа, связывающее между собой разность давлений между фазами, разделенными криволинейной поверхностью, с величиной поверхностного натяжения и кривизной поверхности, имеющее вид:

$$p^* = \sigma(1/\rho_1 + 1/\rho_2), \quad (6)$$

где σ – поверхностное натяжение, Дж/м²; ρ_1, ρ_2 – радиусы кривизны в двух взаимно перпендикулярных сечениях, м.

Так как принято считать кривизну положительной, если более плотная фаза лежит с вогнутой стороны, то $\rho_1 = \rho_2$ и

$$p^* = (4\sigma) / D. \quad (7)$$

Тогда из условия равновесия сил получим условие разрыва капель

$$p_{вн} = T(\delta P / \delta T)_v - P_a > 4(\sigma_c / D_c + \sigma_\phi / D_\phi). \quad (8)$$

Из уравнения следует, что “микровзрыв” наступит тем раньше, чем меньше поверхностное натяжение и больше диаметры сфер, входящих в эмульсию компонентов. При этом для ВТЭ определяющим фактором будет содержание воды, так как величина поверхностного натяжения воды примерно в 3 раза больше, чем у углеводородов, и диаметр водяных включений в 10 – 15 раз меньше диаметра капель эмульсии. Вывод качественно указывает на несколько путей совершенствования процесса превращения химической энергии топлива в дизеле в механическую работу. Например, путем использования присадок поверхностно-активных веществ в результате повышения скорости дробления капель увеличится доля топлива, сгорающая при $v = idem$, что повысит индикаторный КПД дизеля. Тот же результат можно получить, заменив воду на спирт.

В заключение хочется подчеркнуть, что изложенный выше материал нуждается во всесторонней экспериментальной проверке.