

СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОАДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ТОПЛИВА

В.Ф. Калинин, А.В. Щегольков

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент С.И. Дворецкий

Ключевые слова и фразы: дизельные двигатели; математическая модель динамики; термостабилизирующие элементы; токсичность выбросов; электроадаптивная система.

Аннотация: Рассмотрена проблема токсичности выбросов дизельными двигателями автотракторной техники. Обоснованы влияние на токсичность выбросов и износ топливных насосов высокого давления температуры топлива. Произведено описание электроадаптивной системы термостабилизации топлива и ее конструктивных особенностей. Составлено математическое описание процесса термостабилизации, которое позволяет на стадии теоретических исследований обосновать параметры термостабилизирующей системы.

Современные тенденции обновления парка автотракторной техники различного назначения показывают, что двигатели внутреннего сгорания (ДВС) в обозримом будущем останутся основным источником энергии на этих машинах, при этом среди силовых установок автомобилей и тракторов наиболее экономичной тепловой машиной является дизель. Однако дизели чувствительны к смене климатических условий. Вызвано это влиянием на качество смесеобразования и самовоспламенения топливовоздушной смеси температуры поступающего топлива.

При этом токсичные выбросы дизельных ДВС вызывают негативное влияние на экологическую обстановку. Это приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности животноводства, ухудшению качества кормовых растений и снижению ценности садовых культур.

Калинин В.Ф. – доктор технических наук, профессор, первый проректор ТамбГТУ, заведующий кафедрой «Электрооборудование и автоматизация» ТамбГТУ; Щегольков А.В. – аспирант кафедры «Электрооборудование и автоматизация» ТамбГТУ, г. Тамбов.

В связи с этим снижение токсичных выбросов становится одной из первоочередных задач технической эксплуатации двигателей, что послужило основанием для разработки методов и систем снижения токсичности отработавших газов автотракторных дизелей. Это соответствует «Мероприятиям по внедрению ресурсосберегающих технологий в АПК России», утвержденным Министром сельского хозяйства Российской Федерации и направленным на технологическую модернизацию сельского хозяйства, которая является важнейшим фактором инновационного развития продовольственного комплекса России.

Парк машин для различных групп технологий должен претерпеть существенную модернизацию, прежде всего для роста производительности труда и урожая. При этом машинный агрегат должен обеспечивать устойчивую работу в течение основного сельскохозяйственного цикла без поломок и экономично. (Низкая надежность отечественных машин – нередко до 7–10 ч на отказ – основная проблема отечественного АПК.)

Существующие способы снижения токсичности дизельных ДВС в основном направлены на их конструктивные изменения с целью воздействия на характер протекания рабочего процесса, на применение альтернативных видов топлива и присадок к нему, на рециркуляцию отработавших газов, а также на оснащение двигателей нейтрализаторами и сажевыми фильтрами (рис. 1).



Рис. 1. Схема мер по снижению токсичности выбросов

Необходимо отметить, что токсичность выбросов ДВС складывается из картерных газов (КГ) и выхлопных газов (ВГ), при этом каталитические нейтрализаторы и сажевые фильтры воздействуют лишь на ВГ. Следует обратить внимание на то, что даже у технически исправного дизельного ДВС токсичность выбросов находится в функциональной зави-

симости от климатических условий, в особенности от температуры окружающей среды. Вызвано это тем, что качество смесеобразования и самовоспламенения топливно-воздушной смеси зависит от температуры топлива.

Важно отметить, что уровень токсичность выбросов также в значительной мере определяется степенью износа топливного насоса высокого давления (ТНВД). В свою очередь, он подвержен износу вследствие изменения температуры топлива, в котором при низких температурах образуются кристаллы парафинов, а при высоких температурах происходит уменьшение вязкости, что приводит к ухудшению смазывания плунжерных пар ТНВД.

Негативное влияние оказывает как понижение, так и повышение температуры окружающей среды: при этом увеличиваются токсичные выбросы, повышается расход топлива, затрудняется запуск ДВС. В ходе экспериментальных исследований (на моторном стенде ЯМЗ-238) обоснована температура топлива, которая равна 27 ± 5 °С. При этой температуре наблюдаются наилучшие показатели работы дизельного ДВС, с минимальными токсичными выбросами (табл. 1).

Таблица 1

Экологические показатели двигателя ЯМЗ-238 при работе с различной температурой топлива

Температура дизтоплива, °С	Токсичные выбросы, г/мин	Режим работы ДВС		
		Пуск	Холостой ход (прогрев)	Пробег
-20	СО	35	7,80	2,55
	СН	2,90	1,27	0,85
	Д	0,54	0,6	0,67
-10	СО	30	7,02	2,4
	СН	2,2	1,03	0,8
	Д	0,5	0,54	0,6
0	СО	27	6,01	2,1
	СН	2	1	0,6
	Д	0,5	0,7	0,4
+30	СО	10	3,9	1,09
	СН	2,9	0,49	0,71
	Д	0,2	0,1	0,45
+60	СО	20	5,1	2,3
	СН	1,9	0,9	0,7
	Д	0,3	0,3	0,58

В соответствии с вышесказанным, на основании экспериментальных и теоретических исследований была разработана электроадаптивная система термостабилизации топлива (ЭАСТ). В ее основу положен принцип адаптивного потребления электроэнергии от штатной системы электропитания в зависимости от условия среды и нагрузки ДВС.

Принцип действия ЭАСТ основан на использовании полупроводниковых элементов в качестве охладителей (элементы Пельтье) или нагревателей (металлокерамика). Элементы объединены в модули 1 и 2, которые монтируются в топливную магистраль ДВС (рис. 2). Согласование работы ЭАСТ по генерированию или отводу тепла осуществляется анализирующим модулем 3, который непрерывно контролирует температуру и расход топлива и подает соответствующий сигнал на подключение или выключение термостабилизирующих элементов. В зависимости от периода года на месте модуля 1, может быть установлен либо охладитель, либо нагреватель. Реализация принципа контроля как температуры, так и расхода топлива, позволяет адекватно изменять потребляемую мощность термостабилизирующей системы и тем самым стабилизировать температуру топлива.

С целью расчета динамических параметров системы термостабилизации было составлено математическое описание, которое имеет вид:

– для нагревательного модуля:

$$P(\tau) = \frac{E^2(1 - \delta T_i)}{SR(T_i)};$$

$$j(\tau) = \frac{U(1 - \delta T_i)}{R(T_i)Sl}; \quad 0 \leq j \leq j_{\text{доп}};$$

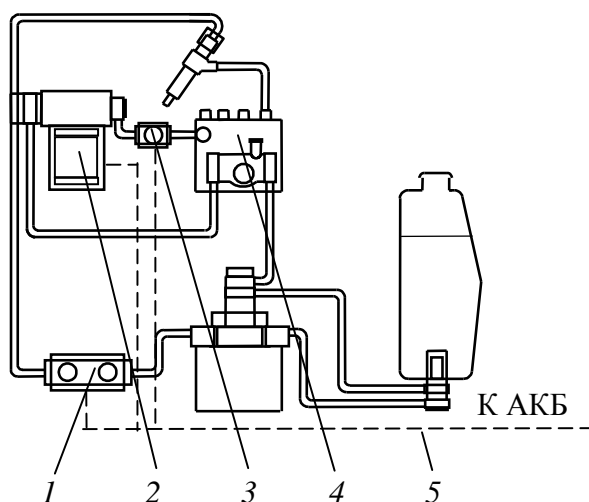


Рис. 2. Схема термостабилизации дизельного топлива:

1 – нагревательный или охладительный модуль топлива; 2 – модуль нагрева фильтра тонкой очистки; 3 – анализирующий модуль; 4 – ТНВД; 5 – линии связи электропитания и адаптивного управления

$$Q_i = \frac{16\lambda}{d_i^2} \frac{(\beta_1 \gamma_1 + \beta_2 \lambda_2)}{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{V(\tau)P(r)S(x)}{N_n Z_k}} V\tau; \quad (1)$$

$$\frac{dT_1}{d\tau} = \frac{1}{\rho c V} P(\tau) - \frac{\alpha_{1-2} F}{\rho c V} (T_1(\tau) - T_2(\tau)),$$

где $P(\tau)$ – мощность термостабилизирующего элемента, Вт; λ – коэффициент теплопроводности топлива, Вт/(м·°С); $j(\tau)$ – плотность тока термостабилизирующего элемента, А/см²; δ – температурный коэффициент проводимости; E – напряженность электрического поля нагревательного элемента, В/м; T_1, T_2 – температура поверхности теплообмена и топлива соответственно, °С; α_{1-2} – коэффициент теплоотдачи между топливом и нагревателем, Вт/(м²·°С); d – диаметр топливной магистрали, м²; V – объем топлива, м³; τ – время процесса термостабилизации, с; ρ – плотность топлива, кг/м³; $V(\tau), P(r), S(x), N_n, Z_k$ – функции решения соответствующих задач с однородными граничными условиями, учитывающими конструктивные особенности; $\beta_1, \gamma_1, \beta_2, \gamma_2$ – коэффициенты, характеризующие теплообмен между нагревателем и топливом;

– для охлаждающего модуля:

$$Q_0 = \alpha_{3-4} I T_{xi} - I^2 l / (\sigma S) - 2\lambda \Delta T S / l ;$$

$$Q_r = Q_0 + W ; \quad (2)$$

$$\frac{dT_{xi}}{d\tau} = \frac{\alpha_{3-4} F_1}{\rho c V} (T_3(\tau) - T_4(\tau)),$$

где Q_r – теплота, снимаемая с горячего спая, Дж; Q_0 – теплота, отводимая от топлива, Дж; Q_n – теплота, подводимая к топливу при низких температурах, Дж; I – ток, потребляемый охлаждающим элементом, А; α_{1-2} – коэффициент теплоотдачи между охладителем и топливом, Вт/(м²·°С); σ – удельная электропроводность ветвей термоэлемента, См; W – электрическая энергия, потребляемая термоэлементом, Вт·ч; T_3, T_4 – температура топлива и охладителя соответственно, °С; T_{xi} – абсолютная температура холодного спая, °С; S – площадь термостабилизирующего элемента, м²; l – длина ветви термоэлемента, мм.

Для определения локальных коэффициентов теплоотдачи в условиях нестационарного процесса дополнительно решим задачу теплообмена с использованием составления дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) с последующим его решением на основе метода конечных элементов.

Конечно-элементное представление системы уравнений для полностью связанной задачи термостабилизации имеет вид:

$$\begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \\ C_x^T & C_y^T & C_z^T \\ K_{TX} & K_{TY} & K_{TZ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ P \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ O \\ F_T \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где векторы V_x, V_y, V_z, P, T – основные степени свободы в узлах скорости, давления и температуры топлива. В глобальной матрице коэффициентов подматрица K относится к взаимовлиянию процессов адвекции. Матрицы C образованы операторами градиентов давления и их транспозициями, а матрицы C^T – операторами дивергенции скорости топлива. Векторы F относятся к вкладу поверхностных потоков.

На основе математического моделирования (1)–(3) получены энергетические параметры ЭАСТ (табл. 2).

Таблица 2

Энергетические параметры ЭАСТ для ЯМЗ-238

Мощность нагревателя, Вт	Мощность охладителя, Вт	Инерционность, с	Количество элементов	
			Нагреватель	Охладитель
200	350	5	20	150

Таким образом, представленная система термостабилизации дизельного топлива, обладающая эффектом электроадаптации, позволяет снижать выбросы ДВС, вызванные изменением климатических условий окружающей среды. Этот вывод согласуется с экспериментальными и производственными испытаниями.

Decrease in Toxicity of Emissions of Diesel Engines by Application of Electro-Adaptive System of Fuel Thermo-Stabilization

V.F. Kalinin, A.V. Schegolkov

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords and phrases: diesel engines; mathematical model of dynamics; thermo-stabilizing elements; toxicity of emissions; electro-adaptive system.

Abstract: The problem of toxicity of emissions by diesel engines of auto-tractors is considered. The effect of high pressure of

fuel temperature on the toxicity of emissions and deterioration of fuel pumps is proved. The description of electro-adaptive system of thermo-stabilization of fuel and its design features is made. The mathematical description of the process of thermo-stabilization which allows proving the parameters of thermo-stabilizing system at the stage of theoretical research is made.

© В.Ф. Калинин, А.В. Щегольков, 2008