

УДК 621.43:629.114.2:62

**СИСТЕМА ЭЛЕКТРОНАГРЕВА ПИТАЮЩЕГО ВОЗДУХА
И ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ТОПЛИВА
В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

В.Ф. Калинин, А.В. Щегольков

*Кафедра «Электрооборудование и автоматизация», ГОУ ВПО «ТГТУ»;
tort12t@mail.ru*

Ключевые слова и фразы: дизельный двигатель; режимно-конструктивные параметры; система электронагрева и терморегулирования; энергоэкологические показатели.

Аннотация: Представлено описание системы терморегулирования топлива и электронагрева питающего воздуха. Дана математическая модель режимно-конструктивных параметров.

Дизельные двигатели чувствительны к смене климатических условий, что вызвано зависимостью процесса сгорания топливовоздушной смеси от температур топлива и питающего воздуха.

Наиболее экстремальной является эксплуатация двигателей при низких температурах окружающей среды. При этом интенсифицируется токсичность выхлопных и картерных газов, увеличивается расход топлива и затрудняется запуск двигателя [1, 2].

В целях улучшения энергоэкологических показателей дизельных двигателей, на основе экспериментально-теоретических исследований разработана система терморегулирования топлива и электронагрева питающего воздуха [3] (рис. 1).

Управление представленной системой осуществляется контроллером (AVR или PIC), который задает режим терморегулирования топлива и электронагрева питающего воздуха в зависимости от нагрузки двигателя и температуры окружающей среды.

На основе алгоритма (рис. 2) осуществляется поддержание температуры топлива перед впрыском. Представленный алгоритм согласует контроль и поддержание температуры топлива при сравнении с задаваемым значением T_3 в каждой секции (T_1 и T_2), что позволяет осуществить терморегулирование с погрешностью ± 3 °С на выходе из фильтрующей секции.

РТС-нагреватели объединены в параллельные секции и образуют нагревательную матрицу (заполняющую пристенную область топливного фильтра), с каждой секцией последовательно соединен полимерный предохранитель (полисвич) (рис. 3, б), ограничивающий резкие скачки силы тока в секциях.

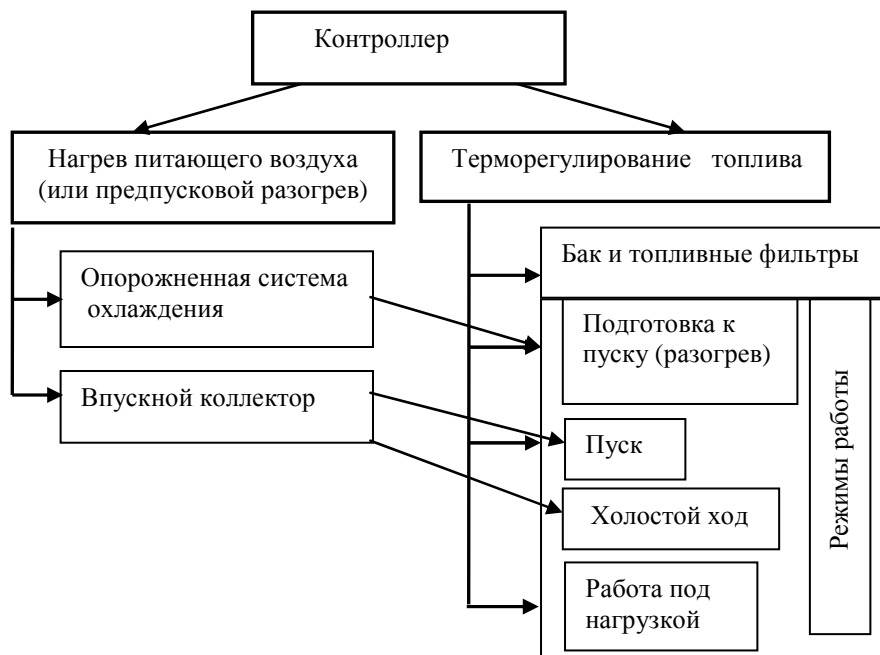


Рис. 1. Структурная схема системы терморегулирования топлива и электронного нагрева питающего воздуха

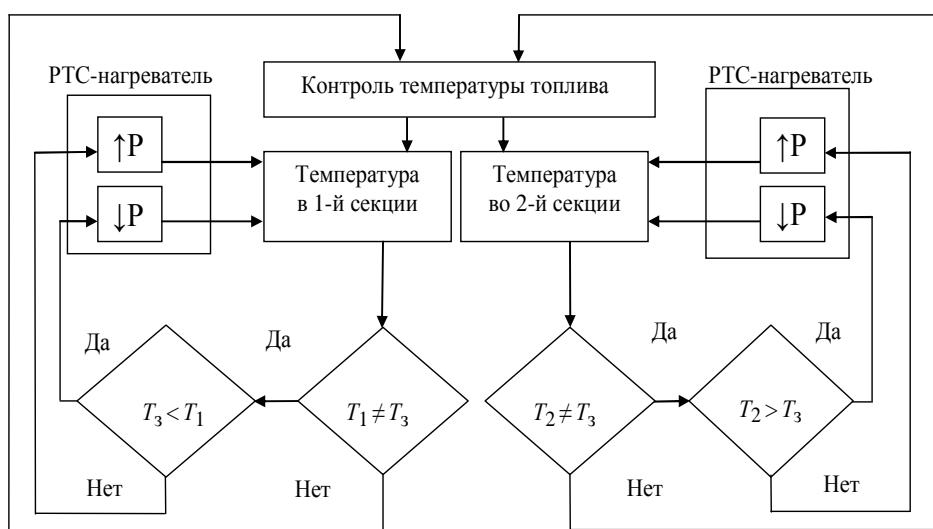


Рис. 2. Блок-схема алгоритма терморегулирования дизельного топлива

На выходе двухсекционного фильтра расположен z-термистор, подающий сигналы при отклонение температуры. Значение поддерживаемой температуры задается с помощью изменения питающего напряжения z-термистора.

Процессы, происходящие в РТС-нагревателях, характеризуются тесной связью тепловых и электрических явлений. Поэтому при разработке нагревательной части системы целесообразно уделить внимание особенностям функционирования РТС-нагревателей.

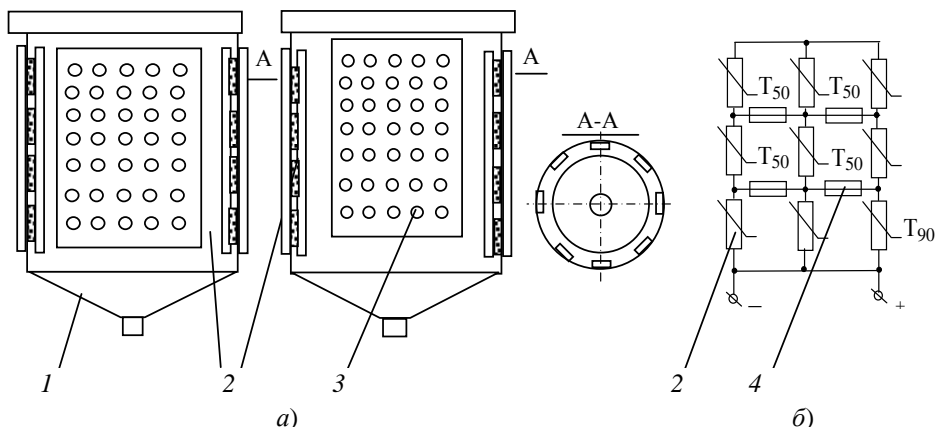


Рис. 3. Расположение PTC-нагревателей в топливных фильтрах (а) и электрическая схема нагревательной секции (б):
 1 – топливный фильтр; 2 – PTC-нагреватели; 3 – фильтрующий элемент; 4 – полисвич-элемент

При этом сила тока на PTC-нагревателях определяется из выражения

$$I(R(t_1)) = \sqrt{\frac{C_T D_T (\rho_{20} - N(T_2 - 20)) \Delta T}{R(t_1) \tau}}, \quad (1)$$

где D_T – расход топлива, м³/с; C_T – теплоемкость топлива, Дж/(кг·°C); $R(t_1)$ – сопротивление PTC-нагревателя, Ом; ρ_{20} – плотность топлива при 20 °C, кг/м³; N – поправочный коэффициент; τ – время, с; ΔT – приращение температуры топлива, °C.

PCT-нагреватель стремится поддерживать температуру на своей поверхности постоянной. Это приводит к тому, что динамическое изменение теплообменного процесса (ΔT и ΔD_T) в нагреваемой среде компенсируется увеличением силы тока $I(R(t_1))$ на нагревателе.

Следует выделить активную фазу работы PCT-нагревателей и фазовый спад, когда они не способны адекватно изменить собственную мощность вследствие гидродинамических особенностей теплообменного процесса. При этом z-термистор корректирует изменение температуры топлива с помощью подаваемого сигнала на контроллер, который подбирает варьируемую мощность под соответствующий режим топливоподачи.

С целью определения рациональных режимно-конструктивных параметров системы терморегулирования топлива разработана математическая модель:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 C_1 (h_1 F_1) \frac{dT_1}{d\tau} &= \tau P(T_2) - \alpha_{1-2} F_1 (T_1 - T_2); \\ (\rho_{20} - N(T_2 - 20)) C_T \frac{dT_2}{d\tau} &= \frac{\tau (\alpha_{1-2} F_1 (T_1 - T_2) - \alpha_{2-3} F_2 (T_2 - T_3))}{D_T}; \\ \rho_F c_F (\pi r^2 h_F) \frac{dT_3}{d\tau} &= \alpha_{2-3} F_2 (T_2 - T_3) - K F_3 (T_3 - T_4); \\ \text{начальные условия: } &T_1, T_2, T_3, T_4; \\ \text{параметры варьирования: } &D_T, P(T_2), F_1, F_2, F_3, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимации и коррекции

Режим топливоподачи	Коэффициенты аппроксимирующего выражения				Корректирующий температурный коэффициент G_{t_i}		
	a	b	c	e	$G_{t_1},$ $T_4 < -10$	$G_{t_2},$ $T_4 < -20$	$G_{t_3},$ $T_4 < -40$
Пуск	110	176	0,09	0,9	1,1	1,2	1,27
Холостой ход	90	120	0,04	0,4	1	1,1	1,2
Работа под нагрузкой	170	199	0,11	1,2	0,9	1,2	1,4

где F_1, F_2, F_3 – площади поверхности РТС-нагревателя и корпуса фильтра (изнутри и снаружи) соответственно, m^2 ; $\alpha_{1-2}, \alpha_{2-3}$ – коэффициенты теплоотдачи с поверхности РТС-нагревателя и стенок корпуса фильтра, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$; $P(T_2)$ – мощность РТС-нагревателей, $Вт$; T_1, T_2, T_3, T_4 – температуры РТС-нагревателей, топлива, стенок корпуса фильтра и окружающей среды соответственно, $^\circ C$; C_1, C_ϕ – теплоемкости материала РТС-нагревателей и корпуса фильтра, $Дж/(кг \cdot ^\circ C)$; K – коэффициент теплопередачи от топлива в окружающую среду, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$; ρ_1, ρ_ϕ – плотности материала РТС-нагревателя и корпуса топливного фильтра соответственно, $кг/м^3$; h_1 – высота нагревателя, $м$; r, h_ϕ – радиус и высота фильтра соответственно, $м$.

Для системы электронагрева питающего воздуха используется соответствующая математическая модель [2].

Коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{1-2}, \alpha_{2-3}$ и теплопередачи K определяются из решения краевой задачи численным методом.

Решение системы уравнений (2) в графическом виде подвергается аппроксимации. Аппроксимированные выражения соответствующего вида составляют математическую основу программного обеспечения управляющего контроллера:

$$P(T_2) = (a - b \exp(-cD_r^e))G_{t_i}. \quad (3)$$

Коэффициенты аппроксимирующего выражения (3) представлены в табл. 1.

Таким образом, использование управляющего контроллера в системе терморегулирования топлива и нагрева питающего воздуха на основе программного обеспечения, получаемого при аппроксимации графического решения системы (2), позволяет поддерживать температуру с погрешностью ± 3 $^\circ C$ для топлива и ± 7 $^\circ C$ для питающего воздуха, что соответствует экспериментально полученным значениям. Применение контроллера позволяет устранить эффект снижения темпа нагрева РТС-нагревателями и повысить их энергетическую эффективность на всех режимах работы питающей и топливоподающей аппаратуры дизельного двигателя.

Экономический эффект от использования представленной системы в период низких температур эксплуатации для дизельного двигателя ЯМЗ-240 составляет 30 тыс. рублей. Производственные испытания показали улучшение энергоэкологических показателей работы дизельного двигателя (ЯМЗ-240): снижение расхода топлива при пуске и прогреве на холостом ходу составляет 20 % и в рабочем режиме от 7 до 15 %, а также уровня токсичности отработанных газов от 12 до 30 %.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований использовались при создании рабочего проекта безгаражного хранения мобильной техники «Базы АВП Моршанского УМГ» для ООО «Мострансгаз».

Список литературы

1. Крамаренко, Г.В. Техническое обслуживание автомобилей / Г.В. Крамаренко, И.В. Барашков. – М. : Транспорт, 1982. – 368 с.
2. Калинин, В.Ф. Разработка электро-аэродинамической системы облегчения запуска двигателей внутреннего сгорания / В.Ф. Калинин, А.В. Щегольков // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Москва, 13–14 мая 2008 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва. – М., 2008. – Ч. 2. – С. 302–307.
3. Пат. 2309287 Российская Федерация, МПК⁷ F 02 N 17/04. Устройство для облегчения запуска двигателя внутреннего сгорания / Шувалов А.М., Щегольков А.В., Кочергин С.В. ; заявитель и патентообладатель Гос. науч. учреждение Всерос. науч.-исслед. ин-т по использованию техники и нефтепродуктов в сел. хоз-ве. – № 2006120004/06 ; заявл. 07.06.06 ; опубл. 27.10.07, Бюл. № 17. – 5 с.

System of Electrical Heating of Feeding Air and Thermoregulation of Fuel in Diesel Engines

V.F. Kalinin, A.V. Shchegolkov

Department "Electrical Equipment and Automation", TSTU;
tort12t@mail.ru

Key words and phrases: diesel engine; electro ecological indexes; mode construction parameters; system of electrical heating and thermoregulation.

Abstract: The paper presents the description of the system of thermoregulation of fuel and electrical heating of feeding air as well as the mathematical model of mode construction parameters.

System der Elektroerwärmung der Speiseluft und der Temperaturregelung des Treibstoffes in den Dieselmotoren

Zusammenfassung: Es sind sowohl die Beschreibung des Systems der Temperaturregelung des Treibstoffes und der Elektroerwärmung der Speiseluft, als auch das mathematische Modell der regime-konstruktiven Parameter dargelegt.

Système du chauffage électrique de l'air alimentant et du réglage thermique du combustible dans les moteurs diesel

Résumé: Est présentée la description du système du réglage thermique du combustible et du chauffage électrique de l'air alimentant ainsi que le modèle mathématique des paramètres de régime et construction.

Авторы: *Калинин Вячеслав Федорович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование и автоматизация»; *Щегольков Александр Викторович* – инженер кафедры «Электрооборудование и автоматизация», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Коновалов Виктор Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая инженерия» ГОУ ВПО «ТГТУ».