

## РАСЧЕТ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ТОПЛИВА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

А. В. ГОРДЕЕНКО, канд. техн. наук, доцент  
П. А. КАЛЪЯНОВ, В. В. ЧАЧУЕВ, студенты

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Одна из важнейших эксплуатационных характеристик дизельного топлива (ДТ) – его низкотемпературные свойства, характеризующие его подвижность при отрицательной температуре.

Низкая температура окружающей среды вызывает выпадение из топлива высокоплавких углеводородов (зависящих главным образом, от фракционного состава дизельного топлива [2]) в виде кристаллов различной формы [1], которые способны забивать фильтрующие элементы, узкие места в системе питания дизеля.

**Методика исследований.** Для гарантированного пуска дизеля в условиях низких температур (ниже температуры помутнения топлива) необходимо предварительно обеспечить разогрев электронагревательного элемента. В данной работе определим время, за которое электронагревательный элемент разогревается до необходимой температуры  $T_H$  в неподвижном объеме топлива при постоянной силе тока  $I$ , если в начальный момент времени температура нагревательного элемента  $T_H$  и температура топлива  $T_T$  равны.

Количество теплоты, выделившейся в нагревательном элементе  $dQ_H$ , при прохождении тока величиной  $I$  за время  $dt$  определяется выражением [6]:

$$dQ_H = dQ_M + dQ_O, \quad (1)$$

где  $dQ_M$  – количество теплоты, идущее на изменение теплосодержания материала нагревательного элемента за время  $dt$ ;

$dQ_O$  – количество теплоты, отдаваемое нагревательным элементом дизельному топливу за время  $dt$ .

По закону Джоуля-Ленца за время  $d\tau$  в нагревательном элементе выделяется количество теплоты, которое можно определить:

$$dQ_H = I^2 R_H d\tau, \quad (2)$$

где  $R_H$  – электрическое сопротивление нагревательного элемента – функция, линейно зависящая от температуры, и может быть определена по формуле [6]:

$$R_H = R_{293} [1 + \alpha (T_H - 293)], \quad (3)$$

где  $R_{293}$  – сопротивление нагревательного элемента при температуре 293 °К;

$\alpha$  – термический коэффициент сопротивления материала нагревательного элемента.

Количество теплоты, идущее на изменение теплосодержания материала нагревательного элемента за время  $d\tau$ :

$$dQ_M = C_M m_H \left( \frac{dT_H}{d\tau} \right) d\tau, \quad (4)$$

где  $C_M$  – теплоемкость материала нагревательного элемента;

$m_H$  – масса нагревательного элемента.

Количество теплоты, отдаваемое за время  $d\tau$  дизельному топливу:

$$dQ_O = \alpha_H (T_H - T_T) A d\tau, \quad (5)$$

где  $\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи от нагревательного элемента дизельному топливу в неподвижном объеме;

$A$  – площадь теплообмена.

Подстановкой в (1), уравнений (2), (4) и (5), с учетом (3), после преобразований, получим:

$$\frac{C_M m_H}{I^2 R_{293} \alpha - \alpha_H A} \ln [I^2 R_{293} (1 - 293\alpha) + T_H (I^2 R_{293} \alpha - \alpha_H A) + \alpha_H A T_T] = \tau + C, \quad (6)$$

где  $C$  – постоянная интегрирования.

С учетом начальных условий ( $\tau = 0$ ;  $T_H = T_T$ ), постоянная интегрирования определяется:

$$C = \frac{C_M m_H}{I^2 R_{293} \alpha - \alpha_H A} \ln [I^2 R_{293} (1 - 293\alpha) + I^2 R_{293} \alpha T_T]. \quad (7)$$

После подстановки формулы (7) в выражение (6) получим:

$$\tau = \frac{C_M m_H}{F} \ln \frac{P + T_H F + \alpha_H A T_T}{P + I^2 R_{293} \alpha T_T}. \quad (8)$$

В формуле (8) обозначено:

$$F = I^2 R_{293} \alpha - \alpha_H A, \quad (9)$$

и

$$P = I^2 R_{293} (I - 293\alpha). \quad (10)$$

По формуле (8) может быть определено время предпусковой работы подогревателя для обеспечения бесперебойной подачи дизельного топлива к топливному насосу высокого давления при пуске дизеля.

Коэффициент теплоотдачи определяем из формулы [6]:

$$\alpha_H = \frac{Nu \lambda_T}{l_o}, \quad (11)$$

где  $Nu$  – число Нуссельта;

$\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности дизельного топлива;

$l_o$  – характерный линейный размер нагревательного элемента.

Число Нуссельта, для замкнутого объема, определяется по формуле [6]:

$$Nu = 0.52 Ra^{0.25}, \quad (12)$$

где  $Ra$  – число Рэлея.

Число Рэлея определяется по формуле [6]:

$$Ra = \frac{g l_o c \rho_T \psi \Delta T}{\nu \lambda_T}, \quad (13)$$

где  $\rho_T$  – плотность дизельного топлива;

$\nu$  – кинематическая вязкость дизельного топлива;

$\psi$  – коэффициент объемного термического расширения дизельного топлива;

$\Delta T$  – характерная разность температур;

$c$  – средняя теплоемкость дизельного топлива в интервале  $\Delta T$ .

Необходимая температура нагревательного элемента  $T_H$ , определяется из условия, что при максимальной скорости движения топлива на входе в нагревательный элемент с начальной температурой  $T_T$  оно на выходе должно иметь требуемую температуру  $T_B$ :

$$T_H = \frac{Ac_T \rho_T \mathcal{G} (T_B - T_T) + \bar{\alpha}_H A T_T}{\bar{\alpha}_H A}, \quad (14)$$

где  $\mathcal{G}$  – максимальная скорость дизельного топлива при прохождении через нагревательный элемент;

$\bar{\alpha}_H$  – средний коэффициент теплоотдачи от нагревательного элемента к дизельному топливу при скорости  $\mathcal{G}$ ;

$c_T$  – текущая теплоемкость дизельного топлива, определяется согласно методике [7];

$T_B$  – требуемая температура, до которой должно быть нагрето дизельное топливо [5].

$$T_B \geq \frac{1}{\beta} \ln \frac{v_o (N + 64 \ell \mathcal{G}_{TP})}{2 d_{TP}^2 \left( M + \frac{P_{BAK}}{\rho_T} + R - K \right)} + T_T. \quad (15)$$

Численные значения коэффициентов, входящих в выражение (15), определяются по зависимостям:

$$N = d_{TP}^2 \sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{G}_i A_i}{\ell_{oi}}, \quad (16)$$

$$M = g(H + Z_1 - Z_2), \quad (17)$$

$$R = \mathcal{G}_2^2 \left( \frac{\omega_2^2}{\omega_i^2} - 1 \right), \quad (18)$$

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \xi_{KB,i} \mathcal{G}_i^2, \quad (19)$$

где  $\beta$  – коэффициент, численное значение которого для дизельного топлива изменяется в пределах 0,025...0,03 [6];

$v_o$  – кинематическая вязкость дизельного топлива при +20 °С (293 °К);

$l$  – суммарная длина трубопроводов от бака до топливоподкачивающего насоса;

$d_{TP}$  – диаметр трубопровода;

$\mathcal{G}_{TP}$  – средняя скорость движения топлива по трубопроводам;

$P_{BAK}$  – максимальное вакуумметрическое давление, создаваемое топливоподкачивающим насосом;

$\mathcal{G}_i$  – средняя скорость топлива в  $i$ -м элементе системы питания дизеля;

$A_i$  – коэффициент  $i$ -го сопротивления системы питания дизеля;

$l_{oi}$  – определяющий размер  $i$ -го местного сопротивления;  
 $H$  – высота столба топлива в баке;  
 $Z_1, Z_2$  – соответственно высота расположения выхода из топливного бака и входа в топливоподкачивающий насос;  
 $\vartheta_2$  – скорость топлива на входе в топливоподкачивающий насос;  
 $\omega_1, \omega_2$  – площади потока на выходе из топливного бака и на входе в топливоподкачивающий насос;  
 $\xi_{KB,i}$  – коэффициент местного  $i$ -го сопротивления квадратичной области.

**Результаты исследований.** В результате расчетов по формуле (8), с учетом выражений (11), (14) и (15) построен график изменения времени предпусковой работы подогревателя в зависимости от температуры окружающей среды [4], установленного в фильтре грубой очистки дизеля Д-243, работающего на топливе ДТ-Е-К5 (Сорт F вид III) по СТБ 1658-2015 с температурами помутнения и застывания  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  и  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  соответственно (рис. 1). Сила тока в цепи подогревателя 10 А, напряжение между контактами – 12 В.

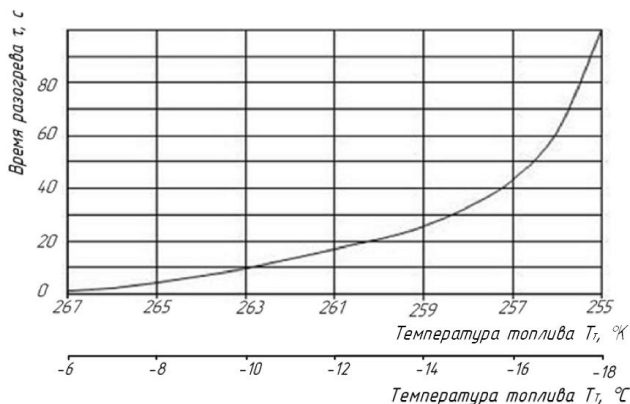


Рис. 1. Зависимость времени предпусковой работы подогревателя от температуры топлива

Согласно кривой, представленной на рис. 1, время предпускового включения подогревателя для температуры топлива  $-8\text{ }^\circ\text{C}$  составляет 5 с, увеличивается до 45 с при температуре  $-16\text{ }^\circ\text{C}$ . Дальнейшее снижение температуры ведет к резкому нарастанию времени разогрева. При температуре топлива  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  (температура помутнения топлива) предпусковое включение подогревателя не требуется.

Аналогичные кривые могут быть рассчитаны для разных марок дизелей, с установкой подогревателей в различных местах топливной системы и для конкретных сортов топлива. Таким образом, вышеизложенная методика может быть использована при конструировании различных электроподогревателей топливных систем дизелей.

**Заключение.** В работе получена теоретическая зависимость, позволяющая определить время предпусковой работы подогревателя, установленного в топливной системе дизеля, для обеспечения гарантированного пуска в условиях зимней эксплуатации.

На основании представленной методики произведен расчет времени предпускового включения электроподогревателя установленного в фильтре грубой очистки дизеля Д-243, в зависимости от температуры окружающей среды, работающего на топливе ДТ-Е-К5 (Сорт F вид III) по СТБ 1658-2015 с температурами помутнения и застывания  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2005. – 172 с.
2. Патент ВУ № 1766 U F 02M 31/00, F02N 17/00. Система облегчения работы дизеля при низких температурах / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, Д. С. Разинкевич.
3. Патент ВУ № 1767 U F 02B 77/00. Система защиты топливной аппаратуры дизеля / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, Д. С. Разинкевич.
4. Пат. 2007609 РФ, МКИ F-02 M 31/12. Подогреватель дизельного топлива / А. Н. Карташевич, В. С. Бранцевич, В. Д. Прудников (Беларусь). – № 4896914/ 06; Заявл. 26.12.90; Опубл. 15.02.94; Бюл. № 3.
5. Карташевич, А. Н. Определение пределов работоспособности топливной системы дизеля при отрицательных температурах / А. Н. Карташевич, В. С. Бранцевич, А. В. Гордеенко // Engineering. – Mokslo darbai, Kaunas-Akademija, 1996. – С. 131–138.
6. Кутателадзе, С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление / С. С. Кутателадзе. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
7. Карташэвіч, А. М. Цеплавы разлік фільтра грубай ачысткі паліва з награвальным элементам для дызельнага рухавіка / А. М. Карташэвіч, В. С. Бранцэвіч // Весці ААН Беларусі. – 1993. – № 2. – С. 105–110.

*Аннотация.* Приведены результаты теоретических исследований предпусковой работы электроподогревателя топливной системы дизельного двигателя, выполненные на основе использования уравнений теплотехники. Произведен расчет электронагревательного элемента, установленного в фильтре грубой очистки дизеля, и получена теоретическая зависимость времени разогрева топлива от его температуры.

*Ключевые слова:* дизельное топливо, низкотемпературные свойства, кристаллы парафинов, фракционный состав, подогреватель топлива.