

УДК 621.436.004+665.753.4

А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, О. В. Понталёв

Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВАТЕЛЯ ТОПЛИВА В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

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

Ключевые слова: топливоподающая система, депрессорные присадки, углеводородный состав топлива, подогрев топлива, электронагревательный элемент.

Введение. Низкая температура окружающей среды вызывает выпадение из топлива высокоплавких углеводородов в виде кристаллов различной формы, которые способны забивать фильтрующие элементы, узкие места топливопроводов и штуцеров в системе питания дизеля [1, с. 12—15]. В настоящее время существует три метода предотвращения этого нежелательного явления: 1) воздействие на свойства дизельного топлива в процессе его производства и потребления; 2) адаптация конструкции топливной системы дизельного двигателя к отрицательным температурам; 3) создание условий, смягчающих негативное воздействие внешних факторов как на работу агрегатов топливоподающей системы, так и на свойства самого топлива.

Методика первой группы в основном сводится к добавлению депрессорных присадок, которые повышают текучесть и прокачиваемость топлив при низких температурах. Однако эффективность действия депрессорных присадок зависит от их концентрации в топливе, его углеводородного состава и наличия в нём асфальто-смолистых веществ. Ввод присадок в дизельное топливо с присутствием воды, которая всегда содержится в условиях эксплуатации, неблагоприятно сказывается на эффективности их применения. Поэтому эффект от депрессорных присадок в реальных условиях всегда оказывается ниже, чем при специальных целевых испытаниях.

Вторая группа приёмов направлена на улучшение низкотемпературной прокачиваемости дизельного топлива. Реализация программы IGF-3 Европейского координационного совета по совершенствованию методов испытаний смазок и моторных топлив позволяет лишь определить арсенал средств улучшения работоспособности дизельных топлив при низких температурах, а также количественно оценить влияние того или иного фактора.

Третья группа предложений может реализоваться как на стадии создания дизельных установок (размещение агрегатов в местах, защищённых от обдува холодным воздухом), так и в эксплуатации. Однако самый радикальный способ этой группы — подогрев топлива. Применение электроподогревателя позволяет решить проблемы как прокачиваемости, так и фильтруемости дизельного топлива. Кроме того, подогрев топлива позволяет снизить расход топлива дизельным двигателем и выброс в атмосферу вредных веществ с отработанными газами, поскольку улучшается процесс сгорания.

Для обеспечения работоспособности топливной системы дизеля в условиях отрицательных температур нами предложен ряд электронагревательных устройств [2], [3], [4], установленных на линии низкого давления и предназначенных для плавления кристаллов *n*-алканов в топливе. Обоснована минимальная температура топлива, при которой возможно нормальное функционирование топливной системы работающего дизеля [5, с. 131—138]. Однако критическим моментом в работе дизельного двигателя при низких температурах является его пуск. Это связано с тем, что концентрация кристаллов в топливе перед пуском дизеля максимальна из-за малой кинетической энергии молекул.

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 объёме 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 $d\tau$, определяется выражением

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

где dQ_M — количество теплоты, идущее на изменение теплосодержания материала нагревательного элемента за время $d\tau$;

dQ_O — количество теплоты, отдаваемое нагревательным элементом дизельному топливу за время $d\tau$ [6, с. 44].

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

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

где R_H — электрическое сопротивление нагревательного элемента, т. е. функция, линейно зависящая от температуры и определяемая по формуле

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

где R_{293} — сопротивление нагревательного элемента при температуре 293 К;

α — термический коэффициент сопротивления материала нагревательного элемента [6, с. 94].

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

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

где c_M — теплоёмкость материала нагревательного элемента;

m_H — масса нагревательного элемента.

Количество теплоты, отдаваемое за время $d\tau$ дизельному топливу, определяется по формуле

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

где α_H — коэффициент теплоотдачи от нагревательного элемента дизельному топливу в неподвижном объёме;

A — площадь теплообмена.

Подстановкой в выражение (1) уравнений (2), (4) и (5) с учётом формулы (3) после преобразований получим следующее равенство:

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

где C — постоянная интегрирования.

С учётом начальных условий (τ равно нулю; T_H равно T_T) постоянная интегрирования определяется по формуле

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

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 следующее:

$$F = I^2 R_{293} \alpha - \alpha_H A$$

и

$$P = I^2 R_{293} (1 - 293\alpha).$$

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

Коэффициент теплоотдачи находим из формулы

$$\alpha_H = \frac{Nu \lambda_T}{l_0}, \quad (9)$$

где Nu — число Нуссельта;

λ_T — коэффициент теплопроводности дизельного топлива;

l_0 — характерный линейный размер нагревательного элемента [6, с. 62].

Число Нуссельта для замкнутого объёма вычисляется по формуле

$$Nu = 0,52 Ra^{0,25},$$

где Ra — число Рэлея [6, с. 128], определяемое по формуле

$$Ra = \frac{g l_0 c \rho_T \psi \Delta T}{\nu \lambda_T},$$

где c — средняя теплоёмкость дизельного топлива в интервале ΔT [6, с. 49];

ρ_T — плотность дизельного топлива;

ν — кинематическая вязкость дизельного топлива;

ψ — коэффициент объёмного термического расширения дизельного топлива;

ΔT — характерная разность температур.

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 :

$$T_H = \frac{Ac_T \rho_T \vartheta (T_B - T_T) + \bar{\alpha}_H A T_T}{\bar{\alpha}_H A}, \quad (10)$$

где ϑ — максимальная скорость дизельного топлива при прохождении через нагревательный элемент;

$\bar{\alpha}_H$ — средний коэффициент теплоотдачи от нагревательного элемента к дизельному топливу при скорости ϑ ;

c_T — текущая теплоёмкость дизельного топлива, определяемая согласно методике [7, с. 105—110];

T_B — требуемая температура, до которой должно быть нагрето дизельное топливо [5, с. 131—138], вычисляемая по формуле

$$T_B \geq \frac{1}{\beta} \ln \frac{v_0(N + 64l\vartheta_{тр})}{2d_{тр}^2 [M + (P_{вак} / \rho_T) + R - K]} + T_T. \quad (11)$$

где β — коэффициент, численное значение которого для дизельного топлива изменяется в пределах 0,025..0,030 [6, с. 298];

v_0 — кинематическая вязкость дизельного топлива при +20°C (293 K);

l — суммарная длина трубопроводов от бака до топливоподкачивающего насоса;

$\vartheta_{тр}$ — средняя скорость движения топлива по трубопроводам;

$d_{тр}$ — диаметр трубопровода;

$P_{вак}$ — максимальное вакуумметрическое давление, создаваемое топливоподкачивающим насосом.

Численные значения коэффициентов N , M , R , K , входящих в выражение (11), определяются по следующим зависимостям:

$$N = d_{тр}^2 \sum_{i=1}^n \frac{\vartheta_i A_i}{l_{0i}},$$

где ϑ_i — средняя скорость топлива в i -м элементе системы питания дизеля;

A_i — коэффициент i -го сопротивления системы питания дизеля;

l_{0i} — определяющий размер i -го местного сопротивления;

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

где H — высота столба топлива в баке;

Z_1, Z_2 — высота расположения выхода из топливного бака и входа в топливоподкачивающий насос соответственно;

$$R = \vartheta_2^2 \left(\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} - 1 \right),$$

где ϑ_2 — скорость топлива на входе в топливоподкачивающий насос;

ω_1, ω_2 — площади потока на выходе из топливного бака и на входе в топливоподкачивающий насос соответственно;

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \xi_{квi} \vartheta_i^2,$$

где $\xi_{квi}$ — коэффициент местного i -го сопротивления квадратичной области.

Результаты исследований. В результате расчётов по формуле (8), с учётом выражений (9), (10) и (11), построен график изменения времени предпусковой работы подогревателя в зависимости от температуры окружающей среды [4], установленного в фильтре грубой очистки дизельного двигателя Д-240, работающего на топливе с температурами помутнения и застывания -5°C и -15°C соответственно (рисунок 1). Сила тока в цепи подогревателя составляет 10 А, напряжение между контактами — 12 В.

Согласно кривой (см. рисунок 1), время предпускового включения подогревателя для температуры топлива -8°C составляет 5 с, увеличиваясь до 45 с при температуре -16°C . Дальнейшее снижение температуры ведёт к резкому нарастанию времени разогрева. При температуре топлива -5°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 процессе исследования получена теоретическая зависимость, позволяющая определить время предпусковой работы подогревателя, установленного в топливной системе дизеля, для обеспечения гарантированного пуска.

На основании представленной методики произведён расчёт времени предпускового включения электроподогревателя, установленного в фильтре грубой очистки дизельного двигателя Д-240, который работает на топливе с температурами помутнения и застывания -5°C и -15°C соответственно, в зависимости от температуры окружающей среды.

Список цитируемых источников

1. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации : моногр. / А. Н. Карташевич [и др.]. — Горки : БГСХА, 2005. — 172 с.
2. Система облегчения работы дизеля при низких температурах : пат. 1766 Респ. Беларусь, МПК7 F 02M 31/00, F 02N 17/00 / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеевко, Д. С. Разинкевич ; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. — № и 20040127 ; заявл. 22.03.04 ; опубл. 30.03.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2005. — № 2.

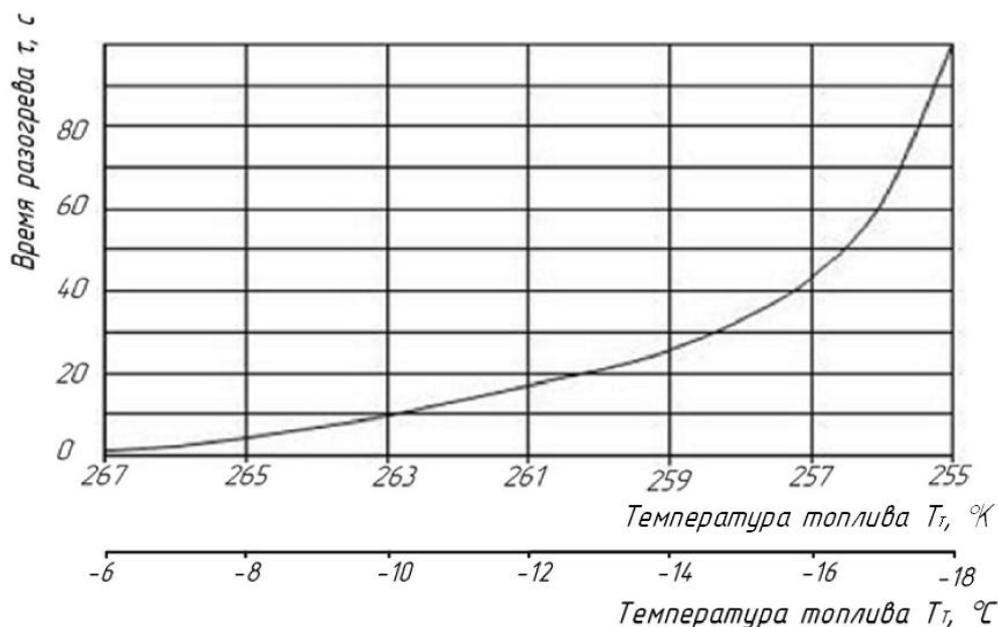


Рисунок 1 — Зависимость времени предпусковой работы подогревателя от температуры топлива

3. Система защиты топливной аппаратуры дизеля : пат. 1767 Респ. Беларусь, МПК7 F 02В 77/00, F 02N 17/00 / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, Д. С. Разинкевич ; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. — № и 20040128 ; заявл. 22.03.04 ; опубл. 30.03.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2005. — № 2.
4. Подогреватель дизельного топлива : пат. 2007609 Рос. Федерации, МПК F 02M 31/00 / А. Н. Карташевич, В. С. Бранцевич, В. Д. Прудников ; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. — № 4896914/06 ; заявл. 26.12.90 ; опубл. 15.02.94 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 1994. — № 2.
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 : справ. пособие / С. С. Кутателадзе. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 367 с.
7. *Карташэвіч, А. М.* Цеплавы разлік фільтра грубай ачысткі паліва з нагрэвальным элементам для дызельнага рухавіка / А. М. Карташэвіч, В. С. Бранцэвіч // Весці НАН Беларусі. — 1993. — № 2. — С. 105—110.

Материал поступил в редакцию 28.01.2014 г.

In article results of theoretical researches of prestarting work of an electroheater of fuel system of the diesel engine, executed on the basis of use of the equations heating engineers are resulted. Calculation of the electroheating element established in the filter of rough clearing of a diesel engine is made, and theoretical dependence of time of a warming up of fuel on its temperature is received.

Key words: fuel system, depressant additives, hydrocarbon fuel composition, fuel heating, electric heating element.