

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С САМОРЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ

**В.Ф. Калинин<sup>1</sup>, А.М. Шувалов<sup>2</sup>, С.В. Кочергин<sup>2</sup>**

*Кафедра «Электрооборудование и автоматизация», ТГТУ (1);  
лаборатория «Альтернативные источники энергии», ВИИТнН (2)*

**Ключевые слова и фразы:** вязкостно-температурные свойства моторного масла; интенсификация процессов теплообмена; коэффициент эффективного использования позисторов как нагревательных элементов; устройство предпускового электроподогрева моторного масла

**Аннотация:** Изложен принцип работы позисторов в устройстве электроподогрева моторного масла и предложена математическая модель нестационарного процесса подогрева моторного масла в поддоне картера двигателя КАМАЗ. Теоретически рассмотрен вопрос повышения эффективности использования позисторов. Проведены теоретические исследования параметров устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности. Определена рациональная площадь теплоотдающей поверхности устройства.

### Условные обозначения

$C_1, C_2, C_3, C_4$  – удельная теплоемкость позисторов, корпуса устройства, моторного масла, поддона картера, соответственно, Дж/(кг·К);

$F_{yc}$  – площадь теплоотдающей поверхности УЭМС, м<sup>2</sup>;

$F_1, F_2, F_3, F_{3cp}, F_{4cp}$  – суммарная площадь позисторов, корпуса устройства, поверхности теплоотдачи моторного масла к поддону картера, поверхности теплоотдачи моторного масла во внутрикартерный воздух, поверхности поддона картера, соответственно, м<sup>2</sup>;

$K_{yc,i}$  – текущее значение коэффициента теплопередачи между позистором и моторным маслом, Вт/(кг·К);

$M_1, M_2, M_3, M_4$  – масса позисторов, моторного масла, корпуса устройства, поддона картера, кг;

$n$  – количество зафиксированных значений потребляемой мощности УЭМС за период разогрева моторного масла;

$N$  – количество параллельно соединенных позисторов;

$P_{max}, P_{cp}$  – максимальная (пиковая) потребляемая мощность устройства и средняя потребляемая мощность устройства за период подогрева моторного масла, соответственно, Вт;

$P_{yc,i}$  – текущее значение потребляемой мощности УЭМС в  $i$ -й момент времени, Вт;

$P_{yc}$  – текущее значение мощности потребляемой устройством, Вт;

$P_{yc}(t_1)$  – мощность электронагревательного устройства на участках при  $t_1 \leq 125$  °С и  $t_1 \geq 125$  °С, Вт;

$t_{нач}, t_{кон}$  – начальная и конечная температуры нагрева моторного масла, соответственно, °С;

$t_1, t_2, t_3, t_4, t_{cp}$  – температура позисторов, корпуса устройства, моторного масла, поддона картера, окружающей среды, соответственно, °С;

$T_{поз,i}, T_{м,i}$  – текущее значение температуры позистора и моторного масла, соответственно, °С;

$U$  – напряжение питания устройства, В;

$\alpha_{12}$  – коэффициент теплоотдачи от позисторов к корпусу устройства, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha_{13}, \alpha_{23}, \alpha_{34}, \alpha_{3cp}, \alpha_{4cp}$  – коэффициенты теплоотдачи от позисторов и пластины к моторному маслу, от моторного масла к поддону картера, от моторного масла во внутрикартерный воздух, от поддона картера в окружающую среду, соответственно, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\eta$  – КПД устройства;

$\tau$  – время нагрева моторного масла, с;

$\tau_{нагр}$  – время нагрева моторного масла до конечной температуры, с.

В зимний период средняя температура окружающей среды на 96,2 % территории России достигает минус 20 °С, на 42,6 % территории – минус 25 °С и на 10 % территории – минус 40 или 45 °С [1].

К числу основных показателей, определяющих работоспособность ДВС во время пуска в зимний период, относятся вязкостно-температурные свойства моторного масла. С понижением температуры происходит увеличение вязкости (коэффициента внутреннего трения) – важнейшего физического свойства масел, при этом она может увеличиваться в тысячи раз до полной потери подвижности при температуре застывания. При низких температурах масла при пуске двигателя вследствие большой вязкости и задержки поступления его к узлам трения двигателя следует ожидать интенсивного повышения температуры сопрягающихся деталей по сравнению с пуском при положительных температурах масла. Совместное влияние режима работы и ухудшения реологических свойств масла при отрицательных температурах резко снижает эффективность работы основных узлов системы смазки и создает условия для интенсификации процессов изнашивания [2].

Для надежного пуска двигателя скорость проворачивания или частота вращения коленчатого вала ( $n_{дв}$ ) должна быть равна или превышать минимальную пусковую частоту вращения ( $n_{мин}$ ), обеспечивающую процесс подготовки горючей смеси в карбюраторном двигателе или достаточную температуру конца сжатия в дизеле, т.е. должно быть выполнено условие  $n_{дв} \geq n_{мин}$  [3].

Для выполнения вышеуказанных условий необходимо использовать дорогие маловязкие синтетические и полусинтетические моторные масла, либо предварительно проводить тепловую подготовку двигателя перед запуском. Из-за высокой стоимости указанных масел на практике, особенно в сельхозпредприятиях, их почти не используют, поэтому наиболее доступен второй вариант [4].

В настоящее время предлагается большое разнообразие средств тепловой предпусковой подготовки двигателей, дизельного топлива, моторного масла, наиболее перспективными из которых являются устройства, отличающиеся простотой в эксплуатации, надежностью и долговечностью, а также обеспечивающие необходимые требования техники безопасности.

ВИИТиН разработано устройство предпускового электроподогрева моторного масла (в поддоне картера ДВС) на саморегулируемых электронагревательных элементах (позисторах), которое получает питание от бортовой сети автомобиля и выгодно отличается от других устройств простотой конструкции, а также саморегулированием мощности в функции температуры моторного масла. В саморегулируемом нагревательном устройстве позисторы выполняют одновременно роль электронагревательных элементов и регуляторов температуры. Характерной особенностью работы этого устройства является чувствительность сопротивления позисторов к изменению температуры моторного масла. В начальный момент, когда моторное масло имеет низкую температуру, сопротивление позисторов мало, что сопровождается большой потребляемой мощностью и быстрым разогревом корпуса устройства и моторного масла. По мере разогрева моторного масла сопротивление позисторов возрастает, мощность устройства снижается, а при достижении моторным маслом необходимой температуры для надежного запуска двигателя – мощность устройства минимальна. Поэтому исключается возможность перегрева и воспламенения масла из-за превышения его температуры, и обеспечивается процесс саморегулирования.

Как показал анализ динамики изменения потребляемой мощности устройства и температуры моторного масла во времени, основным критерием эффективности работы устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности (УЭМС), использующего в качестве нагревательных элементов позис-

торы, является коэффициент эффективного использования позисторов как нагревательных элементов

$$k_{\text{эф.п}} = P_{\text{max}} / P_{\text{cp}} \quad (1)$$

Так как потребляемая мощность устройства меняется в процессе разогрева моторного масла, то  $P_{\text{cp}}$  зависит от величины текущего значения мощности УЭМС

$$P_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{\text{yc.i}} \quad (2)$$

Текущее значение мощности УЭМС зависит от условий теплообмена между системой тел: позистор – корпус устройства – моторное масло – поддон картера – окружающая среда. Интенсификация процессов теплообмена, а именно увеличения коэффициента теплового рассеяния  $k_{\text{т.р}}$  от поверхности корпуса УЭМС в моторное масло, приводит к увеличению текущего значения мощности. Тогда предел коэффициента эффективного использования позисторов стремится к единице

$$\lim_{P_{\text{cp}} \rightarrow P_{\text{max}}} k_{\text{эф.п}} \rightarrow 1 \quad (3)$$

Коэффициент теплового рассеяния от корпуса УЭМС в моторное масло определяется по выражению

$$k_{\text{т.р}} = K_{\text{yc.i}} F_{\text{yc}} = P_{\text{yc.i}} / (T_{\text{yc.i}} - T_{\text{м.и}}) \quad (4)$$

Согласно (4) увеличение средней потребляемой мощности УЭМС возможно конструктивным увеличением площади его теплоотдающей поверхности. Установим функциональную связь между этими двумя параметрами.

Для анализа работы устройства была разработана математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих нестационарный процесс теплообмена при разогреве моторного масла в поддоне картера двигателя внутреннего сгорания КАМАЗ-740:

$$\begin{cases} \frac{dt_1}{d\tau} = \frac{P_{\text{yc}}(t_1) - \alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1 - \alpha_{13}(t_1 - t_3)F_1}{C_1 M_1}; \\ \frac{dt_2}{d\tau} = \frac{\alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1 - \alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2}{C_2 M_2}; \\ \frac{dt_3}{d\tau} = \frac{(\alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2 + \alpha_{13}(t_1 - t_3)F_1) - \alpha_{34}(t_3 - t_4)F_3 - \alpha_{3\text{cp}}(t_3 - t_{\text{cp}})F_{3\text{cp}}}{C_3 M_3}; \\ \frac{dt_4}{d\tau} = \frac{\alpha_{32}(t_3 - t_4)F_3 - \alpha_{4\text{cp}}(t_4 - t_{\text{cp}})F_4}{C_4 M_4}, \end{cases} \quad (5)$$

где мощность УЭМС меняется согласно следующим аппроксимационным выражениям:

$$P_{\text{yc}}(t_1) = \frac{NU^2}{8,67 - 0,0302t_1} \quad \text{при } t_1 \leq 125 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (6)$$

$$P_{\text{yc}}(t_1) = \frac{NU^2}{1,68 \cdot 10^{-7} e^{0,132t_1}} \quad \text{при } t_1 \geq 125 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (7)$$

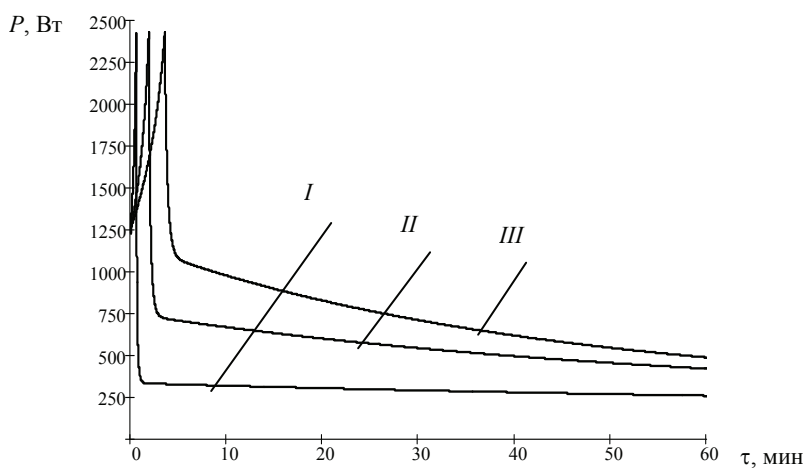
Решение уравнений (5) получено численным интегрированием по разработанной программе на языке Turbo C++, а полученные данные обрабатывались с помощью Mathcad 2001i.

На рис. 1 представлены теоретические кривые изменения потребляемой мощности УЭМС при разогреве моторного масла в поддоне картера двигателя КАМАЗ-740. Температура окружающей среды принималась равной  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Площадь поверхности теплоотдачи устройства варьировали в пределах  $F = 0,0996 \dots 0,498\text{ м}^2$ . Как видно, с увеличением площади происходит увеличение средней потребляемой мощности УЭМС, что приводит к сокращению времени нагрева моторного масла до необходимой температуры, при этом коэффициент эффективного использования позисторов стремится к единице согласно (1).

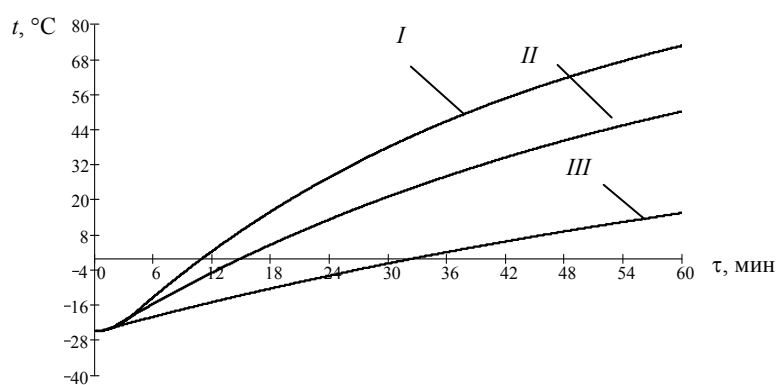
Средняя потребляемая мощность УЭМС за период нагрева вычислялась по формуле

$$P_{\text{ср}} = \frac{C_3 M_3 (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}})}{\eta \tau_{\text{нагр}}}.$$

Таким образом, увеличение средней потребляемой мощности, а значит, повышение эффективности использования УЭМС возможно с увеличением площади теплоотдающей поверхности.



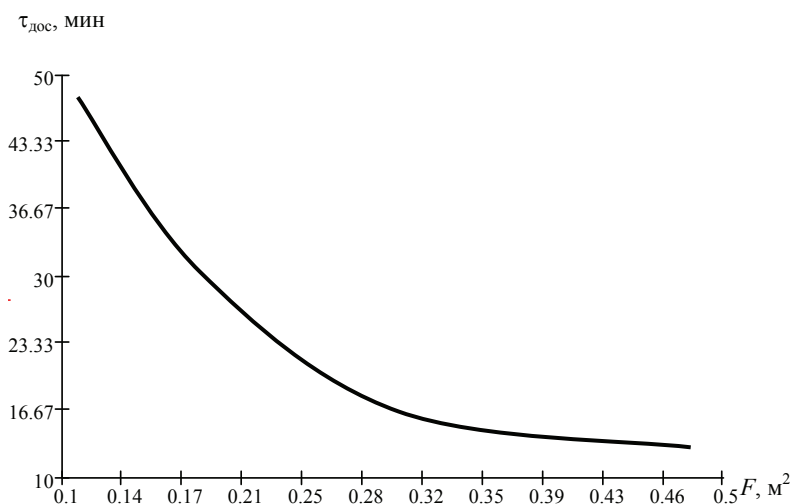
**Рис. 1** Динамика изменения потребляемой мощности УЭМС  
I – 0,0996 м<sup>2</sup>; II – 0,2988 м<sup>2</sup>; III – 0,498 м<sup>2</sup>



**Рис. 2** Динамика изменения температуры моторного масла в поддоне картера двигателя КАМАЗ  
I – 0,0996 м<sup>2</sup>; II – 0,2988 м<sup>2</sup>; III – 0,498 м<sup>2</sup>

Для определения рациональной площади теплоотдающей поверхности устройства была построена функция (рис. 3) зависимости времени достижения моторным маслом необходимой температуры для надежного запуска двигателя от площади устройства при температуре окружающей среды  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Эта функция не имеет характерного экстремума, однако можно сказать, что с увеличением площади теплоотдающей поверхности устройства выше  $0,3\text{ м}^2$ , уменьшение времени нагрева до температуры, необходимой для надежного запуска двигателя внутреннего сгорания, становится менее интенсивным, поэтому эта площадь является рациональной для данного устройства.



**Рис. 3** Зависимость времени достижения температуры моторного масла  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  от площади теплоотдающей поверхности УЭМС при температуре окружающей среды  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Проведенные теоретические исследования параметров устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности позволили определить рациональную площадь теплоотдачи устройства и рассмотреть вопрос повышения эффективности использования позисторов.

#### *Список литературы*

1. Цуцоев В.И. Зимняя эксплуатация тракторов. – М.: Высшая школа, 1983. – 120 с.
2. Конанов С.А. Исследование температурного режима системы смазки тракторного двигателя при его эксплуатации в холодное время года. Автореф. дисс. .... канд. техн. наук. – Омск, 1972. – 22 с.
3. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шаталов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. – М.: Транспорт, 1984. – 136 с.
4. Остриков В.В. Концепция повышения эффективности использования нефтепродуктов // Сб. науч. докл. Межд. научно-практ. конф. Т. 6. – М.: ВИМ, 2001. – 187 с.

## Theoretical Research of Parameters of Electro-Heating Device with Self-Regulated Power

V.F. Kalinin<sup>1</sup>, A.M. Shuvalov<sup>2</sup>, S.V. Kochergin<sup>2</sup>

*Department "Electrical Equipment and Automation", TSTU (1);*

*Lab "Alternative Energy Sources", VIITIN, Tambov (2)*

**Key words and phrases:** viscosity temperature properties of motor oil; intensification of heat exchange processes; coefficient of effective usage of posistors as heating elements; device for pre-start electro-heating of motor oil.

**Abstract:** The principle of posistors work in the device for electro-heating of motor oil is given and mathematical model of non-stationary process of motor oil heating in KAMAZ engine oil sump is suggested. The problem of increasing efficiency of using posistors is theoretically grounded. Theoretical research of parameters of device for electro-heating of motor oil with self-regulated power is conducted and rational square of convective heat transfer of device surface is determined.

---

### Theoretische Untersuchungen der Parameter der elektroerwärmenden Anlage mit der Selbstregulierung der Leistung

**Zusammenfassung:** Es ist das Prinzip der Arbeit von Posistoren in der Anlage der Elektroerwärmung des Motoröls vorgebracht. Es ist das mathematische Modell des unstationären Prozesses der Erwärmung des Motoröls in der Gehäusentasse des KAMAZ-Motors vorgeschlagen. Es ist die theoretischen Untersuchungen der Parameter der Anlage der Elektroerwärmung des Motoröls mit der Selbstregulierung der Leistung durchgeführt. Es ist die Rationalfläche der wärmeabgebenden Oberfläche der Anlage bestimmt.

---

### Etudes théoriques des paramètres du dispositif électrique de chauffage avec l'autorégulation de la puissance

**Résumé:** Est exposé le principe du fonctionnement des posistors dans les dispositifs électriques du chauffage de l'huile moteur dans le carter du moteur KAMAZ. On a examiné théoriquement le problème de l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation des posistors. On a cité les études théoriques des paramètres du dispositif électrique de chauffage de l'huile moteur avec l'autorégulation de la puissance et l'on a défini la surface rationnelle de l'aire rendant la chaleur du dispositif.

---