

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА

*В.В. Робустов, Д.В. Худяков, Сибирская автомобильно-дорожная академия;
С.Г. Фомин, В.К. Шарапов, ОАО «Барнаултрансмаш»*

Описывается теоретическое обоснование теплофизических характеристик ленточных электрических подогревателей моторного масла для дизелей ВАЗ-341/343 с учетом располагаемого времени предпускового подогрева и температуры окружающей среды. Для решения поставленной задачи разработаны математическая модель, программа, приведена блок-схема расчета. Результаты исследований могут быть использованы для других двигателей при различных объемах масла в картере, окружающих температурах. Статья представляет интерес для конструкторов, научных работников и персонала, обслуживающего машины с ДВС.

Надежная эксплуатация машин с ДВС в условиях отрицательных температур, как показывает практика, связана с решением двух основных проблем: проблемы обеспечения надежного запуска двигателя и проблемы исключения самопроизвольной остановки двигателя при работе машины на линии из-за выпадения парафина и закупоривания фильтрующих перегородок в системе топливопитания. Успешному решению этих проблем способствует предпусковая тепловая подготовка основных функциональных систем двигателей: топливопитания, охлаждения и смазки.

Известно большое количество конструктивных решений по подогреву указанных систем [1, 2, 3], однако вопросам исследования теплофизических процессов при использовании подогревателей различного типа внимания пока уделяется недостаточно.

Целью данной работы являются теоретические исследования теплофизических характеристик ленточных электрических подогревателей моторного масла, нашедших широкое распространение в последние годы и защищенных патентами Российской Федерации [4, 5].

На рис. 1 показаны принципиальные схемы подогревателей моторного масла МЭН-02, топливного фильтра ЭН-ФТО и тосола ПОЖ-02МТ.

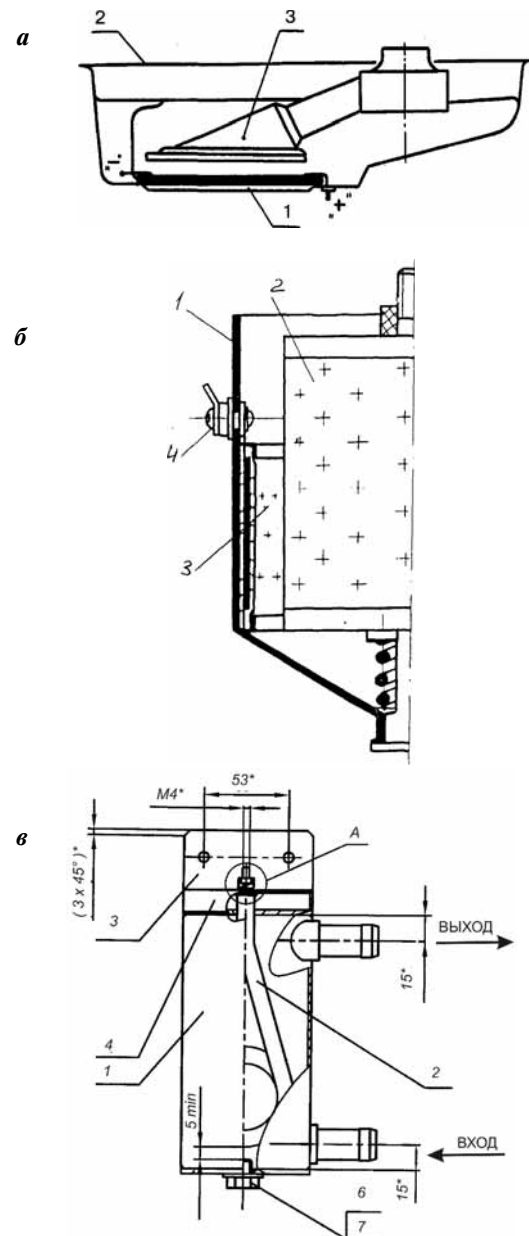


Рис. 1. Подогреватели моторного масла (а), дизельного топлива (б), тосола (в):

- а) 1 — нагреватель; 2 — картер; 3 — маслозаборник; 4 — маслонасос;
б) 1 — корпус фильтра; 2 — фильтроэлемент; 3 — нагреватель; 4 — клемма «+»;
в) 1 — корпус; 2 — ТЭН; 3 — фланец; 4 — крышка

Электрический подогреватель моторного масла МЭН-02 предназначен для облегчения запуска холодного двигателя, когда температура окружающего воздуха ниже -5°C .

Подогреватель моторного масла в виде плоской токопроводящей ленты, размещенной в электроизолирующем корпусе, устанавливается в картере двигателя в масляной ванне под маслоприемником. При этом масло непосредственно контактирует с плоской спиралью нагревательного элемента. При подаче тока спираль нагревается и нагревает контактирующие с ней порции масла.

Экспериментально установлено, что ленточные электрические подогреватели обладают такими бесспорными положительными качествами, как непригарность, компактность, надежность, эффективность и постоянная готовность к работе, а также их экологическая чистота, что доказано многочисленными испытаниями их в составе автомобилей, автобусов и других машин [6].

Исследования проводились в два этапа: на первом этапе были предварительно определены основные технические и теплофизические параметры подогревателя масла; на втором — предварительно определенные параметры были уточнены.

Расчеты производились при определенных физических параметрах картера ВАЗ-3413, объеме масла, температуре окружающей среды, габаритах и мощностях и других параметрах подогревателей по разработанной математической модели и программе.

В основу математической модели положена система трех тел: подогреватель—масло—картер. Из уравнений теплового баланса, записанных для каждого тела, получена система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих нестационарные температурные поля этих тел:

$$\frac{d\Theta_1}{dt} = \frac{P}{C_1} - \frac{\sigma_{12}}{C_1} \Theta_1 + \frac{\sigma_{12}}{C_1} \Theta_2, \quad (1)$$

$$\frac{d\Theta_2}{dt} = \frac{\sigma_{12}}{C_2} \Theta_1 - \frac{\sigma_{12} + \sigma_{23} + \sigma_{2c}}{C_2} \Theta_2 + \frac{\sigma_{23}}{C_2} \Theta_3; \quad (2)$$

$$\frac{d\Theta_3}{dt} = \frac{\sigma_{23}}{C_3} \Theta_2 - \frac{\sigma_{23} + \sigma_{3c}}{C_3} \Theta_3, \quad (3)$$

где $\Theta_1 = t_1 - t_c$; $\Theta_2 = t_2 - t_c$; $\Theta_3 = t_3 - t_c$ — средние избыточные температуры соответственно нагревателя, масла и картера; t_1, t_2, t_3, t_c — средние температуры соответственно нагревателя, масла, картера и окружающей среды; t — время; P — мощность нагревателя; $C_1 = c_1 \rho_1 V_1$; $C_2 = c_2 \rho_2 V_2$; $C_3 = c_3 \rho_3 V_3$ — полные теплоемкости соответственно нагревателя, масла и картера; c_1, c_2, c_3 — массовые теплоемкости соответственно нагревателя, масла и картера; $\rho_1, \rho_2,$

ρ_3 — плотности соответственно нагревателя, масла и картера; V_1, V_2, V_3 — объемы нагревателя, масла и картера; $\sigma_{12} = \alpha_{12} F_1$; $\sigma_{23} = \alpha_{23} F_3$; $\sigma_{2c} = \alpha_{2c} F_2$; $\sigma_{3c} = \alpha_{3c} F_3$ — термические проводимости соответственно от нагревателя к маслу, от масла к корпусу, от масла в окружающую среду со стороны шатунно-поршневой группы и от корпуса картера в окружающую среду; F_1, F_2, F_3 — площади поверхности соответственно нагревателя, масла со стороны шатунно-поршневой группы, корпуса картера.

Указанная система дифференциальных уравнений дополнена начальными условиями:

$$\Theta_1(0) = \Theta_2(0) = \Theta_3(0) = 0. \quad (4)$$

Решение неоднородной системы уравнений (1), (2), (3) найдено для двигателя ВАЗ-3413, в качестве исходных данных использовали следующие:

- температура окружающей среды — 30°C ;
- картер двигателя ВАЗ-3413;
- мощность нагревательного элемента — 240 и 300 Вт;
- размеры нагревательного элемента — $100 \times 100 \times 3$ мм; $100 \times 120 \times 3$ мм;
- масло SAE 10W40 в количестве 3,5 л.

Систему (1) — (3) решали с помощью матриц (видоизмененный метод Эйлера) и получили общее решение в виде системы:

$$\begin{cases} \Theta_1 = K_1 \cdot p_{11} \cdot e^{-\lambda_1 \tau} + K_2 \cdot p_{21} \cdot e^{-\lambda_2 \tau} + K_3 \cdot p_{31} \cdot e^{-\lambda_3 \tau} + \Theta_1^c; \\ \Theta_2 = K_1 \cdot p_{12} \cdot e^{-\lambda_1 \tau} + K_2 \cdot p_{22} \cdot e^{-\lambda_2 \tau} + K_3 \cdot p_{32} \cdot e^{-\lambda_3 \tau} + \Theta_2^c; \\ \Theta_3 = K_1 \cdot p_{13} \cdot e^{-\lambda_1 \tau} + K_2 \cdot p_{23} \cdot e^{-\lambda_2 \tau} + K_3 \cdot p_{33} \cdot e^{-\lambda_3 \tau} + \Theta_3^c. \end{cases} \quad (5)$$

где K_1, K_2, K_3 — постоянные коэффициенты; $\Theta_1^c, \Theta_2^c, \Theta_3^c$ — температуры нагревателя, масла и картера в стационарном режиме.

Окончательное решение системы (5) для нагревательного элемента мощностью 240 Вт представляется в следующем виде:

$$\Theta_1 = -62,82 \cdot e^{-0,2215 \cdot \tau} - 77,436 \cdot e^{-0,0004588 \cdot \tau} - 0,221 \cdot e^{0,01728 \cdot \tau} + 140,47; \quad (6)$$

$$\Theta_2 = 0,175 \cdot e^{-0,2215 \cdot \tau} - 77,275 \cdot e^{-0,0004588 \cdot \tau} - 0,203 \cdot e^{0,01728 \cdot \tau} + 77,3; \quad (7)$$

$$\Theta_3 = -0,0113 \cdot e^{-0,2215 \cdot \tau} - 66,56 \cdot e^{0,0004588 \cdot \tau} + 1,913 \cdot e^{-0,01728 \cdot \tau} + 64,65. \quad (8)$$

Для получения комплекса решений и наглядного их отображения необходимо использовать программу расчета теплофизических характеристик «системы трех тел». Блок-схема разработанной программы приведена на рис. 2.

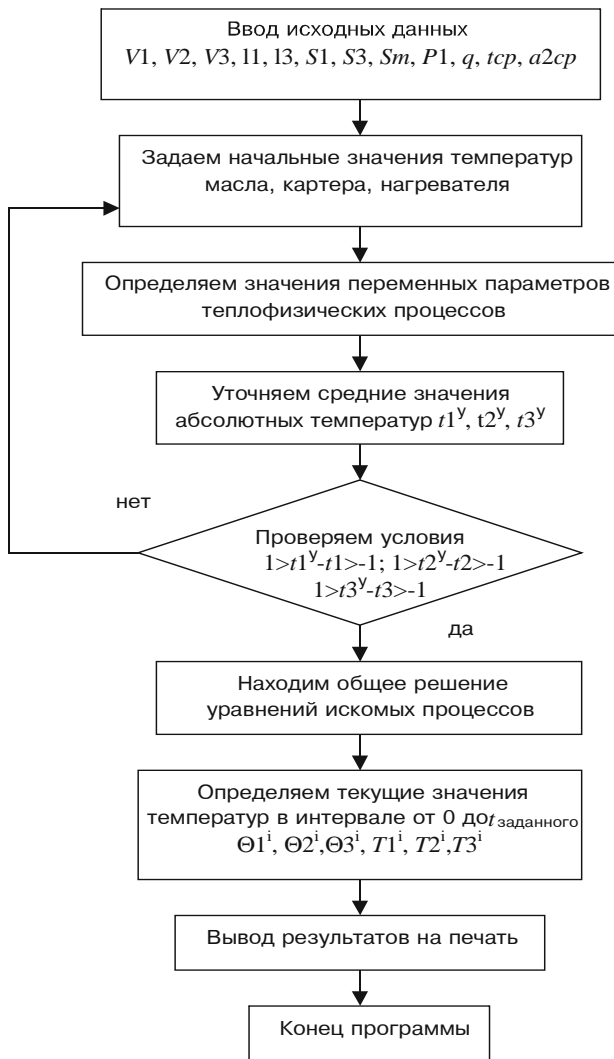


Рис. 2. Блок-схема расчета температурных полей в картере ДВС

Программа позволяет выполнять расчеты с точностью до одного градуса. Результаты расчета выводятся на печать в табличной и графической формах. Программа также позволяет анализировать в целях оптимизации расчетные теплофизические параметры исследуемых подогревателей.

Расчет выполнялся на ЭВМ ATLON-900, необходимая дисковая память которого 50 Мб. Система Windows 2000, пакет приложений OFICE 2000. Время расчета не более 1 с.

На основании полученного решения системы уравнений (5) построен график рис. 3.

Как видно из графика на рис. 3, подогреватель мощностью 300 Вт обеспечивает подогрев масла от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 мин, а подогреватель мощностью 240 Вт — за 14 мин.

За 30 мин нагрева подогревателем мощностью 300 Вт температура масла повышается от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при подогревателе мощностью 240 Вт — от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При испытаниях двигателя в камере холода нагревательный элемент мощностью 280 Вт за 30 мин прогревает масло от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отклонение расчетных данных от экспериментальных составляет 11%. Результаты данных теоретических исследований были использованы при выборе мощности и конструктивных параметрах подогревателя моторного масла для повышения пусковых качеств вихрекамерных дизелей типа ВА3-3413/3434, используемых в агрегатах автономного электроснабжения У 69/У70 производства ОАО «Барнаултрансмаш». Комплексное использование подогревателей моторного масла МЭН-02 мощностью 300 Вт и

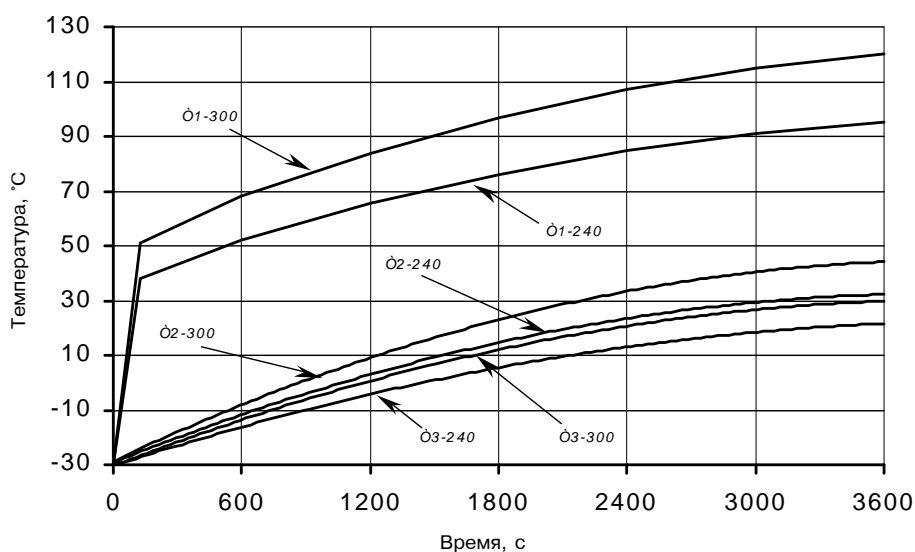


Рис. 3. Влияние мощности подогревателя на время прогрева масла

подогревателя охлаждающей жидкости ПОЖ-02МТ мощностью 900 Вт при напряжении 24 Вт позволило повысить пусковые качества и температуру надежного пуска указанных дизелей от -5 до -25 °С.

Выводы

1. Для повышения пусковых качеств вихрекамерных дизелей типа ВАЗ разработаны и успешно использованы электрические подогреватели масла и охлаждающей жидкости, позволившие понизить температуру надежного пуска двигателя от -5 до -25 °С.

2. Разработаны математическая модель и программа исследования теплофизических характеристик ленточных подогревателей масла, позволившие оптимизировать их параметры для обеспечения надежного пуска вихрекамерных дизелей ВАЗ при низких отрицательных температурах.

3. Экспериментальные исследования подогревателей моторного масла в составе дизеля ВАЗ-3413 показали, что расхождение между теоретическими и расчетными параметрами подогревателей не превышает 11%.

Литература

1. Семенов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур. — М.: Транспорт. — 1993.

2. Новые подогреватели моторного масла и дизельного топлива. Инф. листок № 43-97. Омский ЦНТИ. — Омск, 1997.

3. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой. — СПб.: Наука, 2002.

4. Патент РФ № 2006598 «Ленточный подогреватель масла».

5. Патент РФ № 2078979 «Электрический кольцевой подогреватель топлива».

6. Робустов В.В. Повышение пусковых качеств вихрекамерного дизеля для зимних условий эксплуатации. //Труды III Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера». — Казань, 17–20 июня 2003 г., Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003. 317–320.

ЮБИЛЕЙ!

Александр Николаевич Агафонову 50 лет

20 августа 2005 года исполнилось 50 лет члену редакционной коллегии нашего журнала, Почетному энергетiku РФ, доктору технических наук, профессору, начальнику кафедры дизельных энергетических установок факультета «Энергетики» ВИТУ полковнику Агафонову Александру Николаевичу.



За 12 лет руководства кафедрой ДЭУ А.Н. Агафонов постоянно развивал созданную его учителями, докторами технических наук профессорами Кривовым В.Г. и Путятинским В.А. научную школу в области совершенствования эффективных и экологических характеристик энергетических установок на базе ДВС и подготовил 8 кандидатов технических наук в этой отрасли знаний.

Научно-технические разработки профессора Агафопова А.Н. и его учеников нашли широкое применение в практике проектирования, строительства и реконструкции объектов военной инфраструктуры. Под его руководством на отечественных промышленных предприятиях освоено производство высокоэффективных систем комплексной утилизации теплоты ДВС.

За высокие личные показатели в служебной деятельности и успехи в поддержании боевой готовности войск полковник А.Н. Агафонов награжден правительственными наградами.

Редакция журнала «Двигателестроение», сотрудники кафедры ДЭУ и факультета «Энергетики» ВИТУ поздравляют Александра Николаевича с юбилеем и желают ему успехов в профессиональной деятельности и в развитии отечественной науки о двигателях.