

*На правах рукописи*

**КОЧЕРГИН Сергей Валерьевич**

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА  
МОТОРНОГО МАСЛА  
С САМОРЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ В  
ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование  
в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тамбов 2003

Работа выполнена в государственном научном учреждении Всероссийском научно-исследовательском и проектно-технологическом институте по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ГНУ ВИИТиН) и Тамбовском государственном техническом университете

**Научные руководители:** доктор технических наук  
**Шувалов Анатолий Михайлович,**  
доктор технических наук, профессор  
**Калинин Вячеслав Федорович**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Гордеев Александр Сергеевич,**  
доктор технических наук  
**Остриков Валерий Васильевич**

**Ведущая организация:** ОАО «Алмаз» (г.Котовск, Тамбовская обл.)

Защита диссертации состоится «    » декабря 2003 года в ... часов на заседании диссертационного совета К 220.041.01 Мичуринского государственного аграрного университета по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Мичуринского государственного аграрного университета.

Автореферат разослан «    » ноября 2003 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Н.В. Михеев

---

Подписано в печать 31.10.2003  
Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Times New Roman. Объем: 0,93 усл. печ. л.; 0,85 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 745

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета,  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Большая часть территории Российской Федерации находится в северной климатической зоне, в условиях которой эксплуатируется 80 % автотракторного парка страны. Несмотря на суровые условия, зимой выполняется около 70 % объема транспортных и тракторных работ на Севере и Северо-востоке, а в целом по стране до 30 % годового объема всех тракторных работ. На нынешнем этапе развития сельского хозяйства практически отсутствует централизованное хранение техники в отапливаемых гаражах в зимний период, и большая ее часть хранится на открытых площадках. Поэтому время, затрачиваемое на предпусковую подготовку двигателя, составляет 40 – 80 мин, а износ двигателя в процессе пуска до 70 % от общих эксплуатационных износов. В условиях эксплуатации автотракторной техники наиболее эффективным способом решения данной проблемы является предпусковой подогрев.

Большинство научных работ по подогреву моторного масла в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) проводилось на традиционных средствах тепловой подготовки (трубчатые электронагреватели, индивидуальные подогреватели, газовые горелки, и пр.). Однако за последние 15 – 20 лет произошли значительные изменения в науке и технике. Проведенные поисковые научно-исследовательские работы (НИР) показали, что, используя современные достижения можно создать новые высокоэффективные технические средства предпускового подогрева моторного масла в поддоне картера ДВС, используя саморегулируемые источники тепла, обеспечивающие высокую надежность и качество этой технической операции. Информационно-патентные исследования показали, что до настоящего времени нет методик расчета и проектирования электронагревательных устройств, выполненных на базе саморегулируемых нагревательных элементов (позисторов), что сдерживает широкое их использование. Поэтому работа по разработке и обоснованию параметров электронагревательных устройств с саморегулированием мощности является актуальной научной задачей и представляет значительный теоретический и прикладной интерес.

Работа выполнена в соответствии с Федеральной программой «Создание техники и энергетики нового поколения и формирование эффективной инженерно-технической инфраструктуры агропромышленного комплекса» 2001 – 2005 гг.

**Объект исследований.** Объектом исследований являются теплообменные процессы предпускового подогрева моторного масла в поддоне картера ДВС и режимы работы устройства с саморегулированием мощности.

**Методика исследований.** Поставленные задачи решены путем проведения теоретических и экспериментальных исследований. В работе использованы положения теории эксплуатации автотракторной техники, теплообмена, теоретических основ электротехники, а также методы физического моделирования математической обработки экспериментальных данных и современного компьютерного моделирования (MathCAD 2001i, Curve Expert 1.34, STATISTICA).

**Научная новизна работы.** Обоснован принцип повышения срока эксплуатации автотракторной техники на основе применения в зимний период устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности (УЭМС). Разработана математическая модель процесса подогрева моторного масла в поддоне картера ДВС, позволяющая установить закономерности изменения энергетических и режимных параметров УЭМС. Определены оптимальные конструктивные и энергетические параметры УЭМС.

### **Практическая значимость:**

- конструктивная схема устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности, размещенном в поддоне картера ДВС, защищенная патентом РФ № 2201525 и положительным решением на выдачу патента № 2001128548/06(030417) от 22.10.2001;
- программа расчета динамических характеристик устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности;
- обоснованные энергетические и конструктивные параметры УЭМС;
- разработанная номограмма выбора мощности УЭМС для различной автотракторной техники;
- алгоритм и методика инженерного расчета основных параметров УЭМС.

**Реализация результатов исследований.** УЭМС используется для подогрева моторного масла в двигателях внутреннего сгорания в зимний период в СПК «Серебряковская Нива» Тамбовского района, Тамбовской области. Результаты исследований включены в «Программу мероприятий по реализации и финансовому обеспечению» серийного производства УЭМС, согласованную с заводом-изготовителем теплового оборудования на базе позисторов ОАО «Алмаз» г. Котовск. Также результаты исследований используются

в учебном процессе Тамбовского государственного технического университета при изучении дисциплинам «Эксплуатация машинно-тракторного парка» и «Электроосвещение и электротехнологии в сельском хозяйстве».

**Апробация работы.** Результаты исследований по теме диссертации доложены, обсуждены и одобрены на конференциях: VII научно-технической г. Тамбов, ТГТУ, 2002; VIII научно-технической г. Тамбов, ТГТУ 2003; XI Международной научно-практической г. Москва, ГНУ ВИМ, 2002; III международной научно-технической г. Москва, ГНУ ВИ-ЭСХ, 2003.

**Публикация результатов работы.** Материалы диссертации отражены в 11 печатных работах, 1 патенте и 1 положительном решении на выдачу патента. Общий объем публикаций составляет 3,5 п.л., из них 1,34 п.л. принадлежат лично соискателю.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 166 наименований, из них 7 на иностранном языке, изложена на 190 страницах, включая 78 рисунков, 13 таблиц и 5 приложений.

## Основное содержание работы

**Во введении** показана актуальность темы и изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлены результаты анализа влияния низких температур окружающей среды на вязкостные свойства моторного масла, влияние вязкости на работу системы смазки и пуск ДВС. Также проведен анализ способов и средств, повышающих надежность работы системы смазки ДВС на пусковых режимах, энергетических параметров устройств предпускового подогрева моторного масла.

В результате анализа отмечена необходимость подогрева моторного масла перед запуском двигателя до 20 С. Наиболее эффективным способом является подогрев моторного масла электронагревательным устройством, расположенным в поддоне картера ДВС. Существующие электронагревательные устройства имеют ряд недостатков: использование средств контроля и регулирования увеличивает стоимость устройств, расходы на их эксплуатацию и ремонт, а отсутствие средств регулирования снижает надежность их работы и качество процесса подогрева (перегрев нагревательного элемента, пригорание моторного масла на его поверхности).

Установлено, что наиболее перспективными техническими средствами подогрева моторного масла могут быть устройства, выполненные на базе саморегулируемых полупроводниковых нагревательных элементов (позисторов). Позисторы обладают свойствами саморегулирования без использования дополнительных устройств контроля и регулирования, компактны, выходят из строя лишь при механическом разрушении и имеют высокий срок службы (40 000 часов), минимальные затраты при монтаже, устойчивость работы при низких температурах.

На основании анализа сформулированы цель и задачи исследований.

**Цель работы.** Повышение эффективности использования автотракторной техники и улучшение качества предпускового подогрева моторного масла в зимний период за счет применения электронагревательного устройства с саморегулированием мощности.

### Задачи исследований

1 Исследовать процесс предпускового подогрева моторного масла в поддоне картера двигателя внутреннего сгорания устройством с саморегулированием мощности и разработать его конструктивную схему.

2 Разработать математическую модель процесса подогрева моторного масла устройством с саморегулированием мощности.

3 Провести теоретический анализ энергетических и режимных показателей саморегулируемого устройства электроподогрева моторного масла.

4 Теоретически и экспериментально обосновать рациональные конструктивные и режимные параметры УЭМС.

5 Изучить формирование температурного поля при подогреве моторного масла устройством с саморегулированием мощности.

6 Разработать методику инженерного расчета УЭМС, провести производственные испытания и дать экономическую оценку его использования.

**Во второй главе** предложена новая конструктивная схема устройства предпускового подогрева моторного масла, обоснован принцип его работы, разработана математическая модель процесса подогрева моторного масла в поддоне картера ДВС, проведен теоретический анализ энергетических и режимных

показателей УЭМС, обоснован тип позистора, конструктивные и режимные параметры устройства.

Основной характеристикой позисторов, которая в значительной степени определяет их характер работы в устройстве электроподогрева моторного масла, является температурная зависимость сопротивления (рис. 1). При подаче напряжения на устройство происходит разогрев позисторов проходящим по ним током. В начальный момент до температуры переключения позисторов ( $t_{пер}$ ) происходит снижение их сопротивления ( $R_n$ ) и рост потребляемой мощности. Это позволяет быстро разогреть корпус УЭМС. Однако после  $t_{пер}$  сопротивление позисторов резко возрастает, обусловленное изменениями в кристаллической решетке полупроводникового материала. При этом мощность устройства снижается пропорционально подогреваемому маслу. Таким образом, обеспечивается регулирование мощности УЭМС пропорционально тепловой нагрузке.

При температурах ниже  $t_{пер}$  зависимость сопротивления от температуры приближенно подчиняется обычному закону для терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС)

$$R_n(t_1) = B^n e^{-B'/t_1}. \quad (1)$$

Соответственно мощность УЭМС на этом участке описывается выражением

$$P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{B^n e^{-B'/t_1}}. \quad (2)$$

На участке выше  $t_{пер}$  зависимость сопротивления позистора имеет положительный ТКС

$$R_n(t_1) = A^n e^{\alpha t_1}, \quad (3)$$

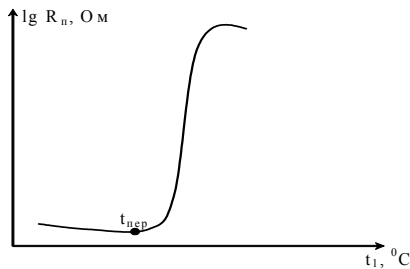


Рис. 1. Типовая температурная характеристика сопротивления позистора

тогда мощность УЭМС примет вид

$$P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{A^n e^{\alpha t_1}}. \quad (4)$$

Уравнение теплового баланса (рис. 2) для процесса подогрева моторного масла в поддоне картера ДВС устройством с саморегулированием мощности в общей форме применительно к элементарно малому промежутку времени имеет вид

$$dQ_{общ} = dQ_{поз} + dQ_{ку} + dQ_{м} + dQ'_{м1} + dQ'_{м2} + dQ'_{пк}. \quad (5)$$

Количество теплоты  $dQ_{общ}$  выделенной за элементарно малый промежуток времени определяется суммарной мощностью позисторов  $P_{yc}$  (т.е. мощностью устройства) и продолжительностью времени  $d$

$$dQ_{общ} = P_{yc}(t_1)d\tau. \quad (6)$$

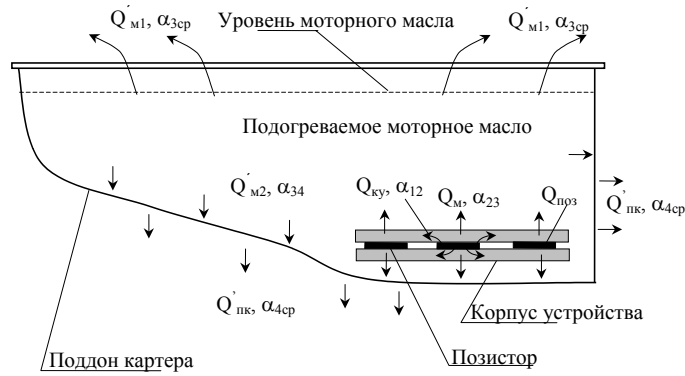
При подаче напряжения на устройство, ток, проходящий через позисторы, вызывает их разогрев, в результате чего происходит передача тепла от позисторов корпусу устройства. Тогда уравнение теплового баланса для позисторов имеет вид

$$P_{yc}(t_1)d\tau = C_1 M_1 dt_1 + \alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1 d\tau. \quad (7)$$

Количество тепла переданного позисторами корпусу устройства идет на приращение его температуры, при этом происходит теплоотдача от корпуса устройства в моторное масло. Уравнение теплового баланса для корпуса устройства в дифференциальной форме можно представить в виде

$$\alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1 d\tau = C_2 M_2 dt_2 + \alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2 d\tau. \quad (8)$$

Количество тепла выделившегося в результате разогрева корпуса устройства идет на приращение температуры моторного масла. При разогреве



**Рис. 2. Схема к расчету теплового баланса УЭМС**

происходят потери тепла от моторного масла во внутрикартерный воздух и к стенкам поддона картера. Уравнение теплового баланса для моторного масла в дифференциальной форме можно представить в виде

$$\alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2 d\tau = C_3 M_3 dt_3 + \alpha_{34}(t_3 - t_4)F_3 d\tau + \alpha_{3cp}(t_3 - t_{3cp})F_{3cp} d\tau. \quad (9)$$

Тепло, переданное от моторного масла стенкам поддона картера, идет на приращение его температуры, при этом происходит нагрев поддона, а в результате этого потери тепла в окружающий воздух. Уравнение теплового баланса для стенок поддона картера в дифференциальной форме можно представить в виде

$$\alpha_{34}(t_3 - t_4)F_3 d\tau = C_4 M_4 dt_4 + \alpha_{4cp}(t_4 - t_{4cp})F_4 d\tau. \quad (10)$$

Таким образом, математическая модель процесса подогрева моторного масла в поддоне картера ДВС электронагревательным устройством с саморегулированием мощности можно представить в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dt_1}{d\tau} = \frac{P_{yc}(t_1) - \alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1}{C_1 M_1}, \\ \frac{dt_2}{d\tau} = \frac{\alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1 - \alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2}{C_2 M_2}, \\ \frac{dt_3}{d\tau} = \frac{\alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2 - \alpha_{34}(t_3 - t_4)F_3 - \alpha_{3cp}(t_3 - t_{3cp})F_{3cp}}{C_3 M_3}, \\ \frac{dt_4}{d\tau} = \frac{\alpha_{34}(t_3 - t_4)F_3 - \alpha_{4cp}(t_4 - t_{4cp})F_4}{C_4 M_4}, \end{cases} \quad (11)$$

при  $t_1 < t_{пер}$   $P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{B^n e^{-B'/t_1}},$

при  $t_1 > t_{пер}$   $P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{A^n e^{\alpha t_1}}.$

Система (11) описывает теплообменные процессы в режиме саморегулирования мощности УЭМС, происходящие при подогреве моторного масла в поддоне картера ДВС.

Решение полученной математической модели проводилось методом Рунге-Кутты четвертого порядка с переменным шагом. Для этого была разработана программа в Mathcad 2001i Professional, выполняющая это решение на персональном компьютере.

Для проведения теоретических исследований с помощью компьютерной программы Curve Expert 1.34 получены аппроксимированные выражения экспериментальной функции изменения сопротивления позистора (с характеристиками  $R_{ном} = (2,5 \dots 6,8)$  Ом,  $t_{пер} = 130$  С) от его температуры (12) – (15). Выражения описывают функцию изменения сопротивления с коэффициент корреляции, равным  $\rho = 0,98 \dots 0,99$ :

$$\left. \begin{aligned} &1 \quad R_{ном} = 2,5 \text{ Ом}, t_{пер} = 130 \text{ С} \\ &\left\{ \begin{aligned} R(t_1) &= 2,717 - 0,0053t_1 + 2,101 \cdot 10^{-5} t_1^2 \text{ при } t_1 < 130 \text{ С}, \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \quad (12) \quad (2.37)$$

$$R(t_1) = \frac{-86,49361}{1 - 321570,9e^{-0,086t_1}} \text{ при } t_1 \text{ } 130 \text{ С.}$$

$$2 \quad R_{\text{ном}} = 3,3 \text{ Ом, } t_{\text{пер}} = 130 \text{ С}$$

$$\begin{cases} R(t_1) = 3,433 - 0,005t_1 + 1,86 \cdot 10^{-5}t_1^2 \text{ при } t_1 \text{ } 130 \text{ С,} \\ R(t_1) = \frac{-255,096}{1 - 7931599,3e^{-0,091t_1}} \text{ при } t_1 \text{ } 130 \text{ С.} \end{cases} \quad (13)$$

$$3 \quad R_{\text{ном}} = 4,8 \text{ Ом, } t_{\text{пер}} = 130 \text{ С}$$

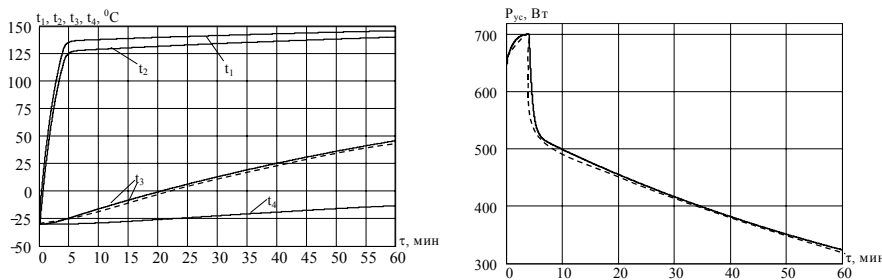
$$\begin{cases} R(t_1) = 4,911 - 0,005t_1 + 1,86 \cdot 10^{-5}t_1^2 \text{ при } t_1 \text{ } 130 \text{ С,} \\ R(t_1) = \frac{-211,552}{1 - 1699350,3e^{-0,0812t_1}} \text{ при } t_1 \text{ } 130 \text{ С.} \end{cases} \quad (14)$$

$$4 \quad R_{\text{ном}} = 6,8 \text{ Ом, } t_{\text{пер}} = 130 \text{ С}$$

$$\begin{cases} R(t_1) = 6,917 - 0,0053t_1 + 2,101 \cdot 10^{-5}t_1^2 \text{ при } t_1 \text{ } 130 \text{ С,} \\ R(t_1) = \frac{1}{3,4425 + 0,676 \ln(t_1)} \text{ при } t_1 \text{ } 130 \text{ С.} \end{cases} \quad (15)$$

Используя математическую модель (11), а также полученные выражения (12) – (15) были установлены закономерности изменения динамических показателей УЭМС (рис. 3).

Сопоставив результаты расчета с опытными данными, полученными в ходе предварительных экспериментальных исследований по подогреву моторного масла в поддоне картера двигателя КамАЗ установили, что среднее процентное их отклонение находится в пределах 6 ... 8 %. Согласно этим дан-



$t_1, t_2, t_3, t_4$  – температуры позистора, корпуса устройства, моторного масла, стенок поддона;  $P_{yc}$  – мощность УЭМС; --- – эксперимент; ——— – теория

**Рис. 3. Закономерности изменения динамических показателей УЭМС**

ным, в процессе подогрева моторного масла обеспечивается снижение мощности устройства пропорционально тепловой нагрузке, а температура поверхности корпуса устройства не превышает максимально допустимую 200 С.

Также были установлены динамические характеристики УЭМС с различными параметрами позисторов. Анализ этих зависимостей показал, что с увеличением  $R_{\text{ном}}$  позистора, происходит снижение пиковой мощности устройства при незначительном отличии во времени разогрева моторного масла. Большие значения пиковой мощности могут отрицательно сказаться на эксплуатации электронагревательного устройства, поэтому были выбраны позисторы с номинальным сопротивлением  $R_{\text{ном}} = 6,8 \text{ Ом}$ .

Целью обоснования конструктивных параметров УЭМС являлось повышение эффективности использования устройства: снижение его стоимости, улучшение энергетических показателей работы, оптимизация массогабаритных показателей и удовлетворение требованиям качества технологического процесса подогрева моторного масла: отсутствие пригорания масел на поверхности устройства.

Так как стоимость устройства в значительной степени определяется количеством используемых позисторов, то повышение энергетических показателей работы УЭМС и снижение его стоимости можно обеспечить при условии

$$Q_{yc} \rightarrow \max \text{ и } n \rightarrow \min. \quad (16)$$



В ходе теоретического анализа было установлено, что увеличение количества передаваемого тепла возможно увеличением плотности теплового потока, либо площади поверхности устройства, а увеличение плотности теплового потока с увеличением коэффициента теплоотдачи от позистора к корпусу устройства при уменьшении удельного теплового сопротивления контакта.

Анализ расчетных данных позволил утверждать, что снижение контактного термического сопротивления, а значит, увеличения коэффициента теплоотдачи от позистора к корпусу устройства  $12$  приводит к увеличению потребляемой мощности и сокращению времени разогрева моторного масла. Однако нужно отметить, что увеличение  $12$  более  $3000 \text{ Вт/м}^2\text{С}$  не приводит к существенному сокращению времени нагрева (кривые практически сливаются). Поэтому контактное термическое сопротивление должно находиться в пределах  $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{С/Вт}$ .

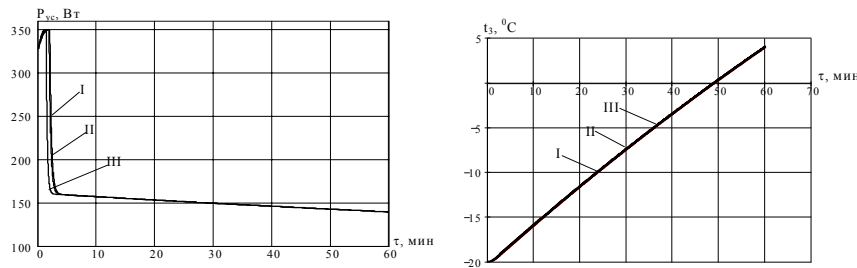
Для обоснования площади теплоотдающей поверхности нагревательного устройства был введен термин – удельная площадь УЭМС ( $F_{уд}$ )

$$F_{уд} = \frac{F_2}{F_1} \quad (17)$$

Согласно теоретически полученным данным максимум теплового потока наблюдается при  $F_{уд} = 19,4$ . Дальнейшее увеличение  $F_{уд}$  приводит к снижению теплового потока. Снижение теплового потока происходит из-за того, что при увеличении площади поверхности УЭМС ( $F_2$ ) уменьшается среднесредностная температура  $t_2$ , а следовательно, и температурный напор ( $t_2 - t_3$ ). Так же происходит уменьшение коэффициента теплоотдачи от поверхности устройства в моторное масло ( $23$ ) согласно выражению (18) из-за увеличивающегося линейного размера  $l_0$  при увеличении  $F_2$ .

$$\alpha_{23} = \frac{\lambda C}{l_0} (Gr Pr)^n \left( \frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25} \quad (18)$$

В результате теоретических исследований были получены расчетные кривые подогрева моторного масла в поддоне картера двигателя (рис. 4), а также изменения мощности УЭМС при использовании в качестве теплоотвода различные материалы (сталь, алюминий, медь).



(а) динамика потребляемой мощности УЭМС, (б) изменение температуры моторного масла в поддоне картера:  
I – сталь; II – алюминий; III – медь.

#### Рис. 4. Обоснование выбора материала корпуса УЭМС

На основании полученных данных можно сделать вывод, что динамика потребляемой мощности устройства и температуры моторного масла для теплоотводящих поверхностей из различного материала практически совпадают. Это происходит потому, что для всех вариантов:

$$\frac{1}{\alpha_{23}} \gg \frac{\delta_1}{\lambda_1} \text{ и } \frac{1}{\alpha_{23}} \gg \frac{1}{\alpha_{12}}, \quad (19)$$

а вследствие этого коэффициенты теплопередачи приблизительно равны

$$k_{стали} \approx k_{алюминия} \approx k_{меди} \quad (20)$$

Поэтому в качестве материала теплоотдающей поверхности устройства выбрали сталь как наиболее дешевую. Теоретически также установлено, что толщина корпуса не оказывает существенного влияния на динамику процесса, поэтому для снижения массогабаритных показателей устройства принята толщина корпуса 0,5 мм.

Одним из основных параметров, определяющих энергоёмкость процесса подогрева моторного масла в поддонах картеров ДВС, является мощность нагревательного устройства. Критерием ее выбора является минимальный расход электроэнергии УЭМС.

Основное влияние на расход электроэнергии оказывают потери тепловой энергии во внутрикартерный воздух и от стенок поддона в окружающую среду.

Так как мощность УЭМС величина непостоянная, то для количественной ее оценки использовали среднюю мощность, вычисляемую по следующей формуле

$$P_{\text{ус.ср}} = \frac{\int_0^{\tau_{\text{нагр}}} P_{\text{ус}}(\tau) d\tau}{\tau_{\text{нагр}}} \quad (22)$$

Установлено, что увеличение средней мощности УЭМС приводит к снижению времени нагрева моторного масла в поддоне картера. Однако при значениях средней мощности УЭМС выше 450 Вт для трактора Т-40, 600 Вт для трактора Т-150, 720 Вт для двигателя автомобиля КамАЗ, 1,1 кВт для двигателя трактора К-700, уменьшение времени нагрева становится менее интенсивным. Это означает, что эффективность процесса нагрева падает, увеличиваются потери в окружающую среду, что отражается на расходе электроэнергии.

Согласно полученным данным, минимум расхода электроэнергии на подогрев моторного масла наблюдается у трактора Т-40 в пределах средней мощности от 420 Вт до 500 Вт, у трактора Т-150 в пределах от 450 Вт до 550 Вт, у автомобиля КамАЗ в пределах от 620 Вт до 700 Вт, у трактора К-700 в пределах от 1 кВт до 1,1 кВт.

**В третьей главе** представлена программа и методики экспериментальных исследований по: выбору позистора для УЭМС, контактного термического сопротивления между позистором и пластиной; обоснованию конструктивных параметров УЭМС; формированию температурного поля в поддоне картера ДВС; обоснованию мощности УЭМС для двигателей ЯМЗ-240Б, СМД-60, КамАЗ-740, влияния температуры окружающей среды на динамические показатели УЭМС, диэлектрических свойств загрязненных моторных масел. Приведено описание экспериментальных установок и их приборного оформления.

Для экспериментальных исследований режимных и конструктивных параметров УЭМС при подогреве моторного масла в поддоне картера ДВС был разработан экспериментальный стенд, схема которого представлена на рис. 5. Исследования проводились в специализированной камере холода ОАО «Алмаз».

Обработка экспериментальных данных производилась в прикладной программе MathCAD 2001 Professional и STATISTICA.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований энергетических и конструктивных параметров УЭМС, а также результаты исследований контактного термического сопротивления пары позистор – пластина, влияния температуры окружающей среды на динамические показатели УЭМС, формирования температурного поля в поддоне картера ДВС и исследования диэлектрических свойств загрязненных моторных масел.

- 1 – камера холода (КХТ – 04 – 004);
- 2 – поддон картера ДВС; 3 – прибор комбинированный цифровой ЩЦ-300; 4 – самописец КСП4;
- 5 – термометры сопротивления ТСП-50М; 6 – галетный переключатель; 7 – источник питания постоянного тока В-ТППД-315-28,5; 8 – пластина;
- 9 – позисторы; 10 – моторное масло; 11 – термопары ХК

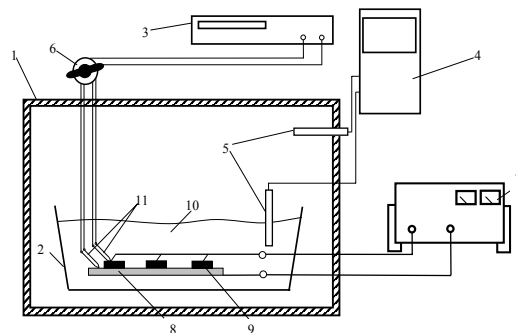


Рис. 5. Схема экспериментального стенда

В результате экспериментальных исследований контактного термического сопротивления между позистором и корпусом устройства (теплоотводящей поверхностью) решалась задача обоснования достаточной шероховатости теплоотводящей поверхности и усилия сжатия в зоне контакта различных пар материалов (позистор – сталь, позистор – алюминий, позистор – медь). Теоретически было доказано, что обоснование выше приведенных параметров позволит снизить термическое сопротивление в зоне контакта, а значит повысить эффективность процесса подогрева моторного масла.

Анализ опытных данных показал, что с увеличением усилия сжатия у всех контактных пар происходит вначале резкое, а затем плавное, после  $60 \cdot 10^5$  Па, уменьшение контактного термического сопротивления. Повышение чистоты обработки по-

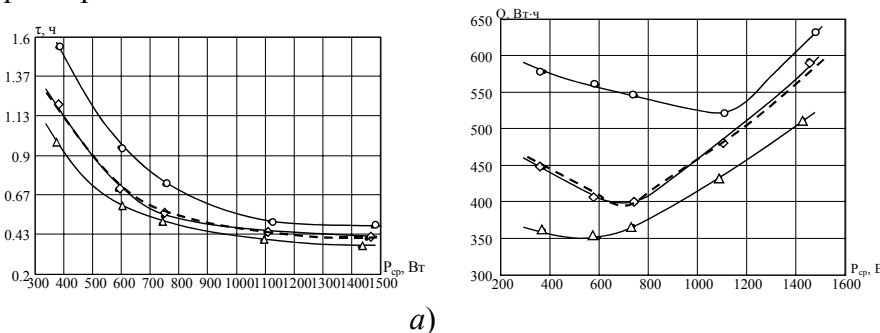
верхностей (т.е. уменьшение средней высоты микронеровностей) также приводит к снижению термического сопротивления контакта, причем кривые в этом случае имеют более пологий характер.

Совместный анализ проведенных экспериментальных исследований контактного термического сопротивления между позистором и корпусом устройства, а также обоснования конструктивных параметров позволил предложить следующие рациональные параметры УЭМС: материал корпуса (сталь), толщина стенки теплоотдающей поверхности  $\delta = 0,5$  мм, чистота обработки материала корпуса устройства соприкасающаяся с поверхностью позистора  $10 \dots 20$  мкм, усилие сжатия  $(0,6 \dots 1,2)10^7$  Па, удельная площадь теплоотдающей поверхности устройства  $F_{уд} = 19 \text{ м}^2$ .

Исследованиями формирования температурного поля моторного масла в поддоне картера двигателя КамАЗ-740 установлено, что наиболее эффективным расположением УЭМС является горизонтальное расположение, обеспечивающее минимальную неравномерность ( $Y_n = 0,76 \%$ ) подогрева моторного масла во всем объеме поддона картера, что повышает надежность бесперебойного поступления смазки в детали сопряжений цилиндропоршневой группы двигателя на пусковых режимах его работы.

В результате экспериментальных исследований по обоснованию мощности УЭМС были получены зависимости времени разогрева моторного масла в поддонах картеров двигателей ЯМЗ-240Б, КамАЗ-740, СМД-60 от средней мощности электронагревательного устройства УЭМС.

Как видно из рис. 6, а, увеличение средней мощности УЭМС от 200 Вт до 600 Вт вызывает резкое снижение времени разогрева моторного масла, однако увеличение мощности свыше 600 Вт приводит к уменьшению интенсивности разогрева. Это происходит в результате увеличения потерь тепла в процессе подогрева от моторного масла в окружающую среду, что приводит к дополнительному расходу электроэнергии.



а – зависимость мощности УЭМС от времени разогрева моторного масла;  
 б – зависимость расхода электроэнергии от мощности УЭМС;  $\circ$  – ЯМЗ-240Б;  
 $\diamond$  – КамАЗ-740;  $\Delta$  – СМД-60; - - - теория; — — эксперимент

**Рис. 6. Обоснование мощности УЭМС**

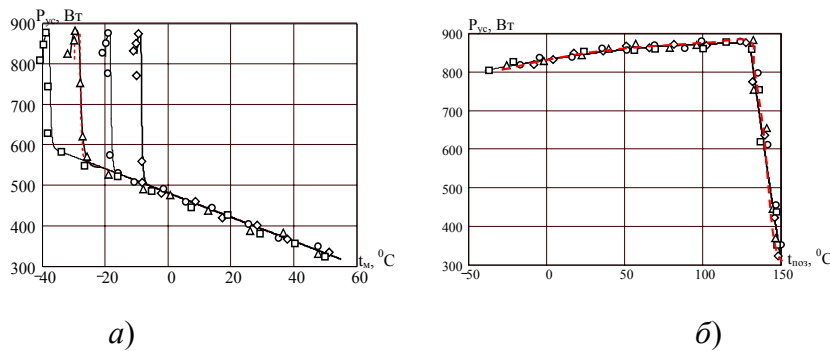
Согласно полученным данным на рис. 6, б наблюдаются точки минимума расхода электроэнергии УЭМС для двигателя ЯМЗ-240Б, которые находятся в пределах  $1000 \dots 1100$  Вт, для двигателя КамАЗ-740 в пределах  $650 \dots 700$  Вт, для двигателя СМД-60 в пределах  $450 \dots 550$  Вт.

Таким образом, в ходе проведенных исследований были установлены оптимальные мощности устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности для двигателей ЯМЗ-240Б, КамАЗ-740, СМД-60, которые обеспечивают минимум расхода электроэнергии.

Согласно проведенным исследованиям влияния температуры окружающей среды на динамические показатели УЭМС установлено, что с ростом температуры моторного масла происходит вначале скачкообразное, а затем пропорциональное снижение мощности устройства (рис. 7, а).

На рис. 7, б показана зависимость мощности УЭМС от температуры позистора. При температуре позистора близкой к  $130$  С происходит резкое падение мощности УЭМС, а максимальная температура его не превышает  $150$  С, что подтверждает отсутствие пригорания моторного масла на поверхности нагревательного устройства (температура лакообразования моторного масла более  $200$  С).

Также в ходе проведенных исследований было доказано, что с понижением температуры окружающей среды и при прочих равных условиях происходит увеличение мощности устройства на  $17 \%$ .



*a* – зависимость мощности УЭМС от температуры моторного масла;  
*б* – зависимость мощности УЭМС от температуры позистора;

◇ – 10 °; ○ – 20 °С; Δ – 30 °С; □ – 40 °С

**Рис. 7. Влияния температуры окружающей среды на динамические показатели УЭМС**

Экспериментальные исследования подтвердили теоретические предпосылки о возможности саморегулирования мощности УЭМС и эффективности предпускового подогрева моторного масла в поддоне картера ДВС разработанным устройством без применения традиционных систем автоматического управления.

**В пятой главе** представлены результаты производственных испытаний, технико-экономическое обоснование УЭМС и методика инженерного расчета его конструктивных параметров.

Устройство электроподогрева прошло производственные испытания в автотранспортном цехе ОАО КЛКЗ г. Котовск, где продемонстрировало высокую эффективность его использования при низких температурах окружающей среды, и было внедрено на СПК «Серебряковская Нива» Тамбовской области.

Оценка экономической эффективности от внедрения УЭМС показала, что годовой экономический эффект составляет 404 р. на один двигатель.

Приведенная методика инженерного расчета позволяет получить основные конструктивные параметры УЭМС с учетом особенностей изменения мощности устройства в процессе подогрева моторного масла.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 Анализ технических средств предпускового подогрева моторного масла в поддоне картера двигателя внутреннего сгорания показал целесообразность разработки с теоретическим обоснованием и экспериментальным подтверждением устройства электроподогрева моторного масла с саморегулированием мощности выполненном на базе позисторов (УЭМС).

2 Разработана конструктивная схема УЭМС, которая позволяет улучшить качество и надежность процесса подогрева без использования специальных средств контроля и регулирования.

3 Разработана математическая модель, получены аналитические выражения температурной характеристики сопротивления позистора в виде кусочно-заданных функций и составлена программа, позволяющая моделировать процесс предпускового подогрева моторного масла в поддоне картера двигателя внутреннего сгорания устройством с саморегулированием мощности.

4 Теоретически и экспериментально определены оптимальные конструктивные и режимные параметры устройства: материал корпуса (сталь), толщина стенки теплоотдающей поверхности  $\delta = 0,5$  мм, чистота обработки материала корпуса устройства соприкасающаяся с поверхностью позистора 10 ... 20 мкм, усилие сжатия  $(0,6 \dots 1,2)10^7$  Па, удельная площадь теплоотдающей поверхности устройства  $F_{уд} = 19 \dots 2$ . Определены оптимальные мощности устройства для тракторов Т-150 (450 ... 550 Вт), К-700 (1000 ... 1100 Вт) и автомобиля КамАЗ (650 ... 700 Вт). Обоснованы параметры позистора наиболее подходящего для устройства подогрева моторного масла: номинальное сопротивление  $R_{ном} = 6,8$  Ом, температура переключения  $T_{пер} = 130$  С.

5 Установлено отсутствие изменений физико-химических показателей моторного масла и ухудшения его качества в результате подогрева устройством с саморегулированием мощности.

6 Экспериментально изучено формирование температурного поля моторного масла при его разогреве устройством с саморегулированием мощности. Установлено, что наиболее эффективным расположением УЭМС является горизонтальное расположение, обеспечивающее минимальную неравномерность ( $Y_n = 0,76$  %) подогрева моторного масла во всем объеме поддона картера, что повышает надеж-

ность бесперебойного поступления смазки к деталям сопряжений цилиндропоршневой группы двигателя на пусковых режимах его работы.

7 На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны алгоритм, методика инженерного расчета УЭМС учитывающая особенности изменения его мощности и теплообменных процессов подогрева моторного масла в режиме саморегулирования в поддонах картеров ДВС при низких температурах окружающей среды.

8 Производственные испытания показали, что в результате использования УЭМС пуск двигателя осуществляется не более, чем тремя попытками пуска продолжительностью каждой от 5 до 15 секунд с интервалами между ними 1 – 1,5 мин, максимальный ток стартера снижается в среднем на 15 ... 40 А, пусковые обороты коленчатого вала увеличиваются на 20 ... 50 об/мин.

9 Расчетный годовой экономический эффект от использования УЭМС составляет 404 р. на один двигатель.

### Основные обозначения

$A, A_B, B$  – коэффициенты зависящие от физико-химических свойств полупроводникового материала позистора;  $dQ_{\text{общ}}$  – общее количество теплоты выделяемое позисторами, Дж;  $dQ_{\text{поз}}$  – количество теплоты, идущей на нагрев позисторов, Дж;  $dQ_{\text{ку}}$  – количество теплоты, идущей на нагрев корпуса устройства, Дж;  $dQ_{\text{м}}$  – количество теплоты, идущей на нагрев моторного масла, Дж;  $dQ'_{\text{м1}}$  – теплопотери от моторного масла во внутрикартерный воздух, Дж;  $dQ'_{\text{м2}}$  – теплопотери от моторного масла к стенкам поддона картера, Дж;

$dQ'_{\text{пк}}$  – теплопотери от стенок поддона картера в окружающий воздух, Дж;  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_{\text{ср}}$  – температура позисторов, корпуса устройства, моторного масла, поддона картера, окружающей среды, соответственно, С;  $\tau$  – время нагрева моторного масла, с;  $P_{\text{yc}}(t_1)$  – мощность электронагревательного устройства на участках при  $t_1 \leq 130$  С и  $t_1 \geq 130$  С, Вт;  $C_1, C_2, C_3, C_4$  – удельная теплоемкость позисторов, корпуса устройства, моторного масла, поддона картера соответственно, Дж/кгК;  $\lambda_{12}$  – коэффициент теплоотдачи от позисторов к корпусу устройства, Вт/(м<sup>2</sup> К);  $\lambda_{23}, \lambda_{34}, \lambda_{3\text{ср}}, \lambda_{4\text{ср}}$  – коэффициенты теплоотдачи от 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);  $F_1, F_2, F_3, F_{3\text{ср}}, F_{4\text{ср}}$  – 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>;  $M_1, M_2, M_3, M_4$  – масса позисторов, моторного масла, корпуса устройства, поддона картера, кг;  $n$  – количество параллельно соединенных позисторов;  $U$  – напряжение питания устройства, В.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1 Кочергин С.В. Энергосберегающее саморегулируемое устройство электроподогрева моторного масла для двигателей внутреннего сгорания в зимний период / С.В. Кочергин // Труды ТГТУ: Сб. науч. тр. / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2002. № 11. С. 126 – 130.

2 Калинин В.Ф. Математическая модель процесса подогрева моторного масла в двигателе внутреннего сгорания саморегулируемым электронагревательным устройством / В.Ф. Калинин, А.М. Шувалов, С.В. Кочергин // Вестник ТГТУ. 2002. Т. 8. № 4. С. 623 – 628.

3 Калинин В.Ф. Обоснование выбора мощности устройства электроподогрева на саморегулируемых полупроводниковых нагревательных элементах / В.Ф. Калинин, А.М. Шувалов, С.В. Кочергин // Вестник ТГУ. Сер. «Естественные и технические науки». 2002. Т. 7. Вып. 3. С. 373 – 374.

4 Кочергин С.В. Исследование влияния контактного термического сопротивления в электронагревательном устройстве на динамику разогрева моторного масла / С.В. Кочергин // Труды ТГТУ: Сб. науч. тр. / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2002. № 13. С. 98 – 101.

5 Кочергин С.В. Актуальность использования саморегулируемого устройства электроподогрева моторного масла для ДВС в зимний период / С.В. Кочергин, Р.В. Минаев // Тез. к VII науч.-техн. конф. ТГТУ / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2002. С. 253.

6 Шувалов А.М. Обоснование принципа работы устройства электроподогрева моторного масла двигателей внутреннего сгорания с саморегулированием мощности / А.М. Шувалов, С.В. Кочергин, А.И. Козлов // Сб. науч. тр. междунар. научн.-техн. конф. / СПбГАУ / СПб, 2003. С. 438 – 443.

7 Кочергин С.В. Обоснование выбора позисторов устройства электроподогрева моторного масла / С.В. Кочергин // Сб. науч. тр. 3-й междунар. научн.-техн. конф. / ГНУ ВИЭСХ / М., 2003. Ч. 2. С. 292 – 296.

8 Шувалов А.М. Использование саморегулируемого устройства подогрева моторного масла мобильной техники в зимний период / А.М. Шувалов, В.М. Тюх, С.В. Кочергин // Сб. науч. тр. XI междунар. научн.-практ. конф. / ВИМ / М., 2002. Т. 139. Ч. 2. С. 94 – 99.

9 Шувалов А.М. Энергосберегающее устройство электроподогрева моторного масла в зимний период / А.М. Шувалов, С.В. Кочергин // Сб. науч. тр. 3-й Междунар. научн.-техн. конф. / ГНУ ВИЭСХ / М., 2003. Ч. 2. С. 292 – 296.

10 Кочергин С.В. Обоснование энергетических и конструктивных параметров устройства электроподогрева моторного масла / С.В. Кочергин // Тез. к VIII научн.-техн. конф. ТГТУ / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2003. С. 125.

11 Кочергин С.В. Математическое моделирование работы устройств с саморегулированием мощности / С.В. Кочергин, Д.В. Якунин, М.В. Зуйков // Сб. науч. тр. 3-й Междунар. конф. / Приднестровский гос. ун-т им. Т.Г. Шевченко / Тирасполь, 2003. С. 321.

12 Калинин В.Ф. Теоретические исследования параметров электронагревательного устройства с саморегулированием мощности / В.Ф. Калинин, А.М. Шувалов, С.В. Кочергин // Вестник ТГТУ, 2003. Т. 8. № 4. С. 654 – 659.

13 Пат. РФ № 2201525 7F 02 N 17/04. Устройство для предпускового подогрева картерного масла двигателя внутреннего сгорания / Шувалов А.М., Клейменов О.А., Калинин В.Ф., Кочергин С.В.; Заявл. 17.04.2001.

14 Заявка № 2001128544/06(030417) Устройство для облегчения запуска двигателя внутреннего сгорания / Шувалов А.М., Тюх В.М., Клейменов О.А., Зазуля А.Н., Кочергин С.В. Приоритет от 22.10.2001 г.