

На правах рукописи



Шавлов Алексей Валерьевич

**УЛУЧШЕНИЕ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЕЙ ТИПА В-2  
С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ПОДГОТОВКИ ЗАПУСКА  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ  
МАСЛА**

05.04.02 – Тепловые двигатели

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Барнаул – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул) и в НП «Сертификационный центр автотракторной техники» (г. Челябинск).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Кузьмин Алексей Геннадьевич

Научный консультант: кандидат технических наук, доцент  
Бондарь Владимир Николаевич

Официальные оппоненты: Черепов Олег Дмитриевич  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный  
технический университет  
им. И.И. Ползунова», профессор

Федюнин Павел Иванович  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Новосибирский  
государственный аграрный университет»,  
заведующий кафедрой

Ведущая организация: ОАО ХК «Барнаултрансмаш»

Защита состоится «24» мая 2012 г. в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д212.004.03 при ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038 г. Барнаул, пр. Ленина, 46 (тел./факс (3852) 26-05-16; E-mail: D21200403@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью Вашего учреждения, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «\_\_\_» апреля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



А.Е. Свистула

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

|      |  |
|------|--|
| БУФ  | – блок управления форсункой;                                   |
| ГММ  | – главная масляная магистраль;                                 |
| КГМ  | – колесные и гусеничные машины;                                |
| КСПЗ | – комбинированная система подготовки запуска;                  |
| МЗН  | – маслозакачивающий насос;                                     |
| ПВВ  | – подогреватель воздуха на впуске;                             |
| ПЖД  | – подогреватель жидкостный дизельный;                          |
| СПП  | – средства предпусковой подготовки;                            |
| СТМ  | – система термостатирования масла;                             |
| ТЭН  | – трубчатый электронагреватель;                                |
| SOFM | – самоорганизующиеся структуры (self-organizing feature maps). |

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Технический уровень многоцелевых КГМ во многом определяется временем предпусковой подготовки и пуска силовой установки. Учитывая тенденции развития отечественных и зарубежных КГМ, в ближайшей перспективе необходимо обеспечить минимальную температуру пуска дизеля без СПП при температуре окружающей среды минус 25 °С и ниже, а с СПП – при температуре минус 50 °С и ниже. Для сокращения времени предпусковой подготовки и выполнения перспективных требований к пусковым характеристикам целесообразно совместное использование СПП и средств облегчения пуска в составе КСПЗ, включающей СТМ. Преимуществами СТМ, по сравнению с другими СПП являются: 1) малые объем и масса устройства; 2) низкое потребление энергии; 3) снижение времени на подготовку пуска.

Взаимное влияние параметров деталей дизеля, СТМ, масла, охлаждающей жидкости имеет сложный и часто неявный характер, что не позволяет выявить адекватные зависимости, связывающие параметры состояния масла в СТМ и системе смазки, температур элементов, пусковых характеристик дизеля типа В-2 с КСПЗ. Отсутствуют экспериментальные данные о влиянии пуска дизеля с КСПЗ и СТМ на изнашиваемость его деталей. Нет математической модели процессов предпусковой подготовки дизеля с КСПЗ, позволяющей определить влияния режимов функционирования и конструктивных параметров СТМ на тепловое состояние дизеля с КСПЗ и его пусковые характеристики.

**Объект исследования:** процессы функционирования системы термостатирования масла и пуска дизеля типа В-2 с КСПЗ.

**Предмет исследования:** влияние режимов работы и конструктивных параметров СТМ на процессы поддержания теплового состояния, предпусковой подготовки и пуска дизеля типа В-2 с КСПЗ.

**Методы исследования.** Анализ результатов экспериментальных исследований предпускового разогрева и пуска дизеля в климатической камере с использованием стандартных и оригинальных методов и средств испытаний. Математическое моделирование процессов предпусковой подготовки дизеля с КСПЗ.

**Цель работы:** улучшить пусковые характеристики дизелей типа В-2 с комбинированной системой подготовки запуска.

**Задачи исследования:**

1. Экспериментально определить влияние режимов функционирования и конструктивных параметров СТМ на тепловое состояние дизеля с КСПЗ и его пусковые характеристики.
2. Разработать комплексную математическую модель процессов предпусковой подготовки дизеля с КСПЗ и СТМ.
3. Обосновать режимы функционирования и конструктивные параметры СТМ в составе КСПЗ, обеспечивающие пуск дизеля в заданных условиях.

**Научная новизна (положения, выносимые на защиту):**

1. Выявленные в ходе экспериментального исследования в климатической камере закономерности взаимного влияния параметров состояния масла в СТМ и системе смазки, температур элементов и пусковых характеристик дизеля типа В-2 с КСПЗ.
2. Комплексная математическая модель процессов предпусковой подготовки дизеля типа В-2, включающая ранее неизвестные зависимости, связывающие условия внешней среды, конструктивные параметры и температурные характеристики элементов СТМ и дизеля и нейросетевую модель процесса функционирования СТМ и дизеля.

**Практическую ценность имеют:**

1. Разработанные методы экспериментального исследования параметров состояния масла в СТМ и системе смазки, температур элементов и пусковых характеристик дизеля типа В-2 с КСПЗ.
2. Разработанные расчетные методы прогнозирования теплового состояния дизеля типа В-2 с КСПЗ и СТМ.
3. Научно обоснованные рекомендации по выбору режимов функционирования и конструктивных параметров СТМ в составе КСПЗ, обеспечивающих пуск дизеля типа В-2 в заданных условиях.

Результаты исследования могут быть распространены на дизели с КСПЗ и СТМ, рекомендации по результатам работы могут быть использованы при конструктивной доводке дизелей типа В-2 по пусковым характеристикам.

**Реализация результатов.** Результаты работы используются ООО ГСКБ «Трансдизель» (г. Челябинск), НП «Сертификационный центр автотракторной техники» (г. Челябинск), Военным учебно-научным центром сухопутных войск «Общевойсковая академия сухопутных войск ВС РФ» (филиал г. Омск).

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались и обсуждались на VIII Всероссийской научно-технической конференции (Екатеринбург – 2010 г.) и международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ» (Москва – 2010 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 6 работ: 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 – в материалах международной и всероссийской конференций, 1 – в региональных изданиях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы (102 источника) и приложения, содержит 135 страниц, 15 таблиц, 49 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** выполнен обзор и анализ методов и средств обеспечения требуемых пусковых характеристик дизелей КГМ. Выявлены особенности конструкции и режимов эксплуатации системы термостатирования масла в составе КСПЗ. Выполнен обзор методов математического моделирования процессов предпусковой подготовки и пуска дизеля. В конце главы сформулирована проблема, поставлены цели и задачи исследования.

Проблемам предпусковой подготовки и пуска дизелей в различных климатических условиях посвящены работы В.А. Купершмидта, В.И. Козлова, Г.Д. Драгунова, В.В. Шишкова, В.Г. Камалтдинова, К.В. Роднова, Н.Н. Патрахальцева, N. Henien, J.K. Park, D.K. Shayler, W. Leong, M. Murphy и других ученых. Анализ показал, что результаты выполненных работ не в полной мере применимы к решению задач настоящего исследования, т.к. в них не отражены особенности предпусковой подготовки дизеля с СТМ и КСПЗ.

Исследования Л.А. Николаева, А.П. Сташкевича, И.А. Захарова, Ю.В. Микулина выявили, что пуск дизелей типа 12ЧН15/18 при температуре окружающего воздуха ниже минус 40 °С возможен, если вязкость масла – не выше 4500...6000 сСт, что для масла М-12В<sub>2</sub>РК соответствует температуре минус 20 °С. Пуск двигателя при температуре масла ниже минус 20 °С отрицательно сказывается на показателях изнашиваемости. Для обеспечения температуры масла выше указанной СТМ должна обеспечивать поддержание температуры масла в баке не менее +50 °С с последующей подачей его к подшипникам двигателя в момент запуска, что влечет необходимость теоретического и экспериментального обоснования режимов функционирования и конструктивных параметров СТМ в составе КСПЗ, обеспечивающих пуск дизеля в заданных условиях.

**Во второй главе** описаны методы и средства экспериментального исследования. В качестве объектов экспериментального исследования выбраны дизель В-58-7МС-1 (12ЧН15/18) и КСПЗ, состоящая из опытной системы термостатирования масла, ПВВ и ПЖД. Выбор объектов обусловлен возможностью распространения результатов эксперимента на дизели типа В-2, применяемые в составе многоцелевых КГМ и стационарных установках. Дано описание климатической камеры, приборов и оборудования с указанием точности измерений. Приведены методики эксперимента и обработки результатов.

Двигатель устанавливался на перекаточный стенд, на котором смонтированы:

- топливная система с расходным баком и топливоподкачивающим насосом;
- масляная система с системой термостатирования масла;
- система охлаждения с расширительным баком и с системой ПЖД;

- система воздушного пуска, состоящая из двух 5-ти литровых баллонов и одного стендового баллона емкостью 40 л, электроклапана и воздухопроводов;
- стендовый пульт управления и контроля за работой систем двигателя, который включает рычаг управления подачей топлива, манометры для измерения давления масла в ГММ, топлива в системе ПВВ, воздуха в баллонах и в системе ПВВ, тахометр для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя, вольтметр для измерения напряжения на свечах ПВВ (рисунок 1).

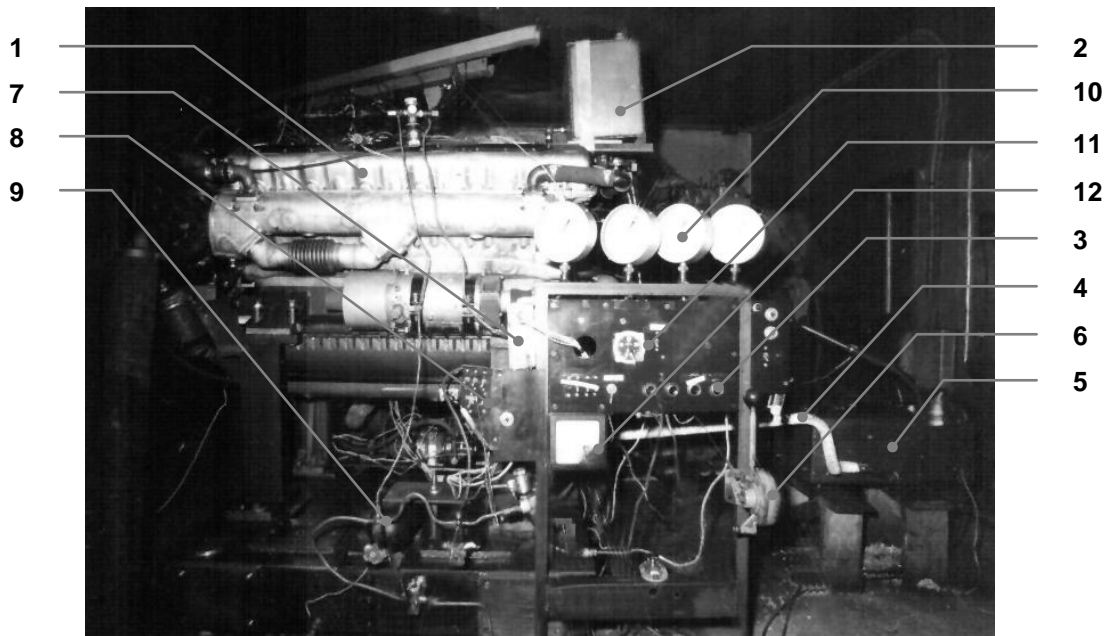


Рисунок 1 – Общий вид стендовой установки для испытаний КСПЗ двигателя (со стороны левого блока): 1 – двигатель, 2 – бак расширительный системы охлаждения, 3 – пульт управления стендовый, 4 – труба теплоизолированная между основным и дополнительным баками, 5 – бак масляный дополнительный, 6 – рычаг управления подачей топлива, 7 – БУФ-2, 8 – пульт управления ПЖД, 9 – воздушные пусковые баллоны, 10 – манометры, 11 – тахометр, 12 – вольтметр

Система термостатирования масла (рисунок 2) содержит теплоизолированные основной 2 и дополнительный 11 маслобаки с установленными в них электроподогревателями масла (3), два маслозакачивающих насоса МЗН-2 (6 и 7), один из которых предназначен для закачки нагретого в баках масла в ГММ двигателя (МЗН-зак), а второй – для откачки масла из нижнего картера двигателя в основной маслобак (МЗН-отк). Основной бак соединен с дополнительным баком теплоизолированной трубой 13. Подвод масла к двигателю осуществляется через обогреваемую маслозаборную трубу 8. Электронагреватели масла представляют собой замкнутые полости, расположенные внутри баков, в которых смонтированы трубчатые U-образные ТЭНы (в основном баке – 2 шт., в дополнительном – 1 шт.). Номинальная мощность каждого ТЭНа при напряжении питания 220 В составляет 500 Вт. Полости электронагревателей заполняются низкотемпературной охлаждающей жидкостью и соединяются трубками с расширительным баком системы охлаждения двигателя, что обеспечивает отвод пара или жидкости при её расширении.

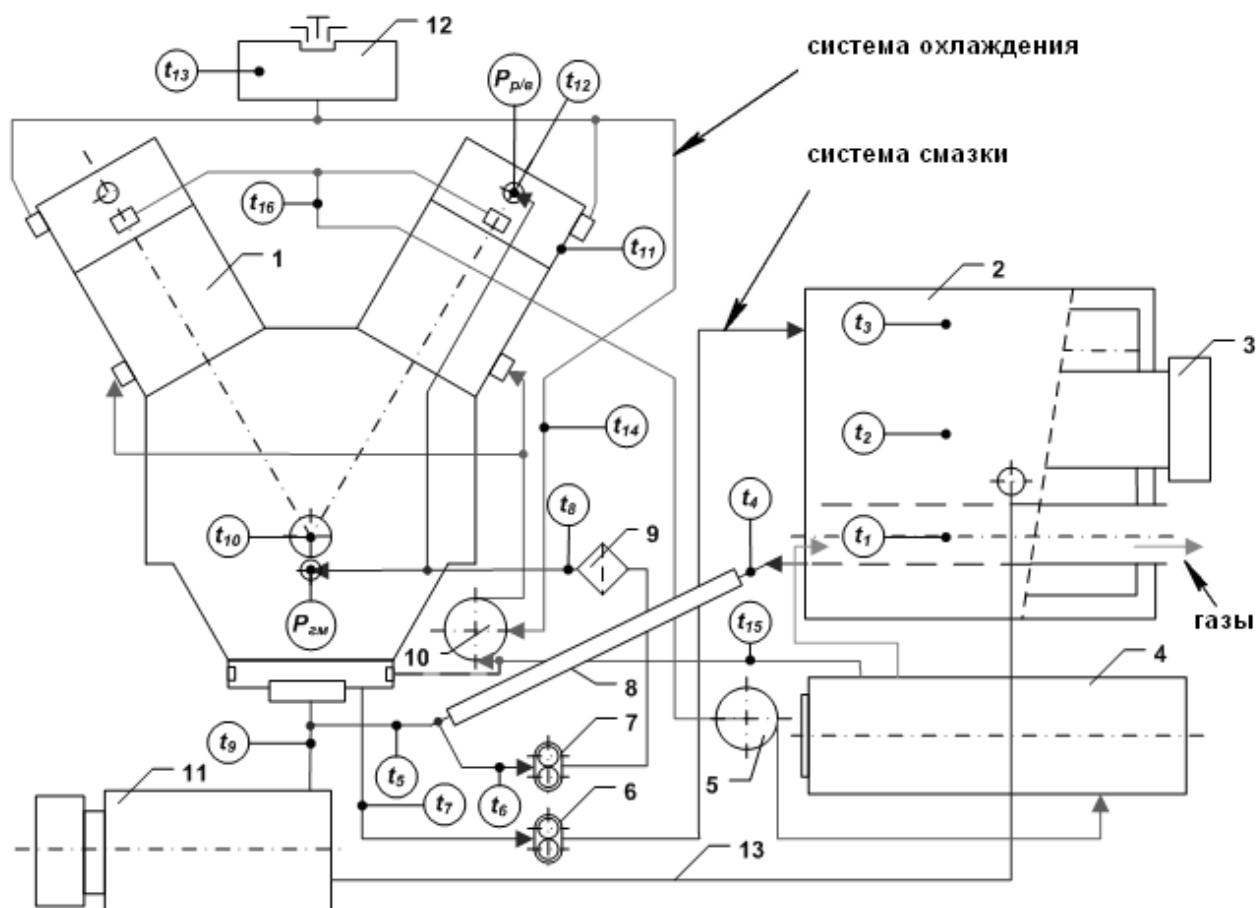


Рисунок 2 – Схема стендовой установки для испытаний КСПЗ: 1 – двигатель, 2 – бак масляный основной, 3 – электроподогреватель масла, 4 – котел ПЖД, 5 – насос водяной ПЖД, 6 – МЗН-отк, 7 – МЗН-зак, 8 – труба маслозаборная, 9 – фильтр масляный, 10 – насос жидкостный двигателя, 11 – бак масляный дополнительный, 12 – бак расширительный, 13 – труба теплоизолированная между основным и дополнительным баками, P – датчики давления масла,  $t_1...t_{16}$  – термопары

Работа СТМ в автоматическом режиме обеспечивается технологическим пультом управления (рисунок 1), который по сигналу датчиков температуры жидкости в электроподогревателях включает (при температуре  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и выключает (при температуре  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ТЭНы, а также включает и отключает МЗН-зак и МЗН-отк в соответствии с заданной циклограммой.

**В третьей главе** приведены результаты экспериментального определения влияния режимов функционирования и конструктивных параметров СТМ на пусковые характеристики дизеля В-2 с КСПЗ в климатической камере.

Определено тепловое состояние масла и дизеля при различных условиях и режимах функционирования СТМ. Установлено, что при  $t_{окр}=-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $N_{ТЭН}=1200\text{ Вт}$  и  $t_{окр}=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $N_{ТЭН}=1500\text{ Вт}$  (рисунок 3) СТМ поддерживает тепловое состояние масла, при котором обеспечивается подача масла к трущимся узлам двигателя и пуск с использованием ПВВ за время, не превышающее 5 мин. При  $t_{окр}$  ниже минус  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $N_{ТЭН}=1200\text{ Вт}$ ) и минус  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $N_{ТЭН}=1500\text{ Вт}$ ) работа МЗН-зак и МЗН-отк в составе СТМ по выбранной

циклограмме становится менее эффективной, т.к. из-за значительного возрастания вязкости масла его прокачка через двигатель и прогрев подшипников существенно снижаются (рисунок 4). Рекомендовано включение СТМ с работающими МЗНами производить только до температуры минус 25...30 °С в зависимости от располагаемой мощности ТЭНов. Рациональная мощность ТЭНов СТМ составляет 1500 Вт.

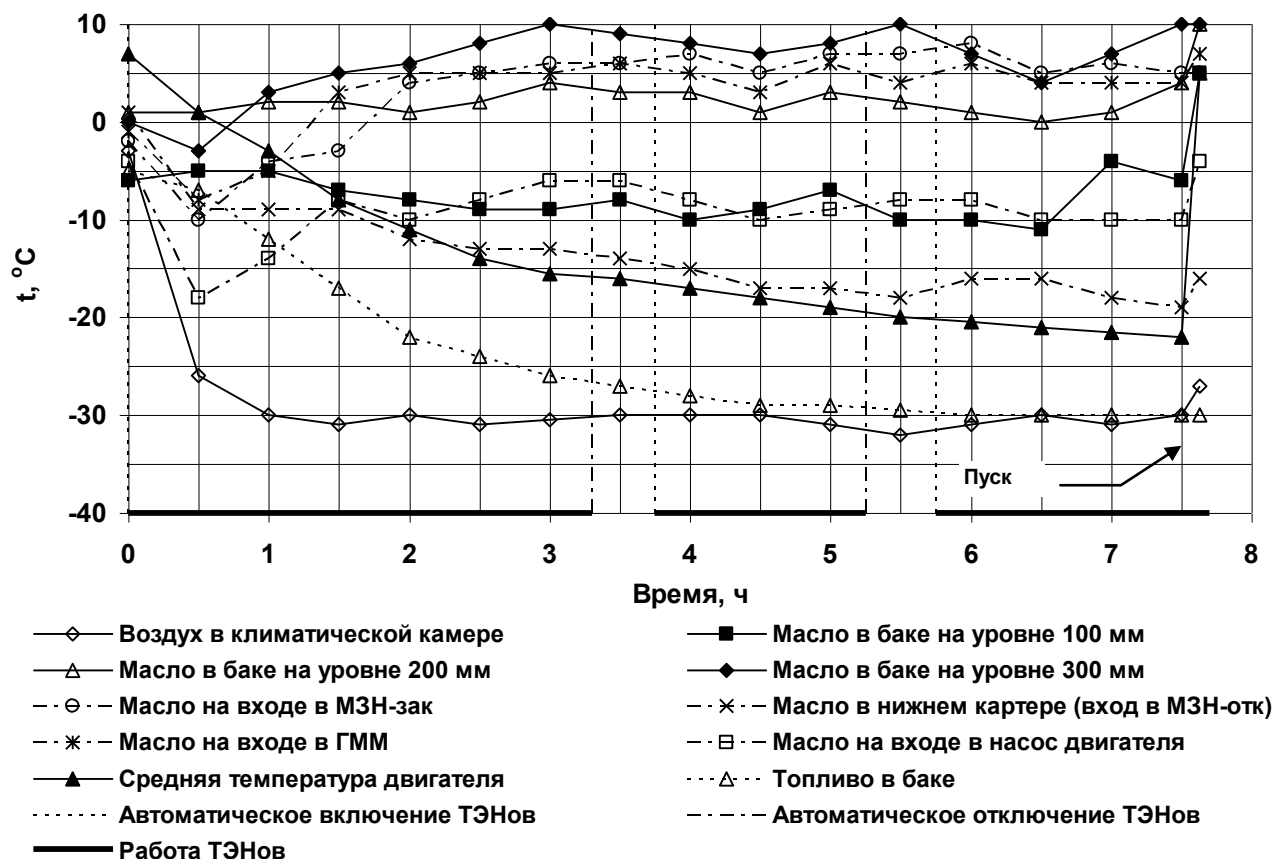


Рисунок 3 – Изменение температуры масла и двигателя при работе СТМ ( $t_{окр} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $N_{ТЭН} = 1500\text{ Вт}$ )

При температурах ниже минус 30 °С при включении СТМ должны работать только ТЭНы, поддерживая в основном баке постоянную положительную температуру масла. С целью поддержания температуры масла в баке в интервале от 70 °С до 90 °С с последующей подачей его к подшипникам двигателя в момент запуска, целесообразно расширить диапазон работы нагревателя по температуре охлаждающей жидкости с 70...90 °С до 80...100 °С.

При температурах окружающего воздуха до минус 30 °С (при работающих МЗНах) средняя температура масла в основном баке СТМ составляет 5 °С, а при температурах ниже минус 30 °С не превышает 45 °С. Разность температур масла в верхней и нижней частях бака при работе СТМ без включения МЗНов достигает 40 °С, а при работающих МЗНах – 20 °С, поэтому нагреватель рационально располагать в нижней части основного маслобака, откуда производился забор масла в систему смазки двигателя, а также увеличить поверхность теплообмена.



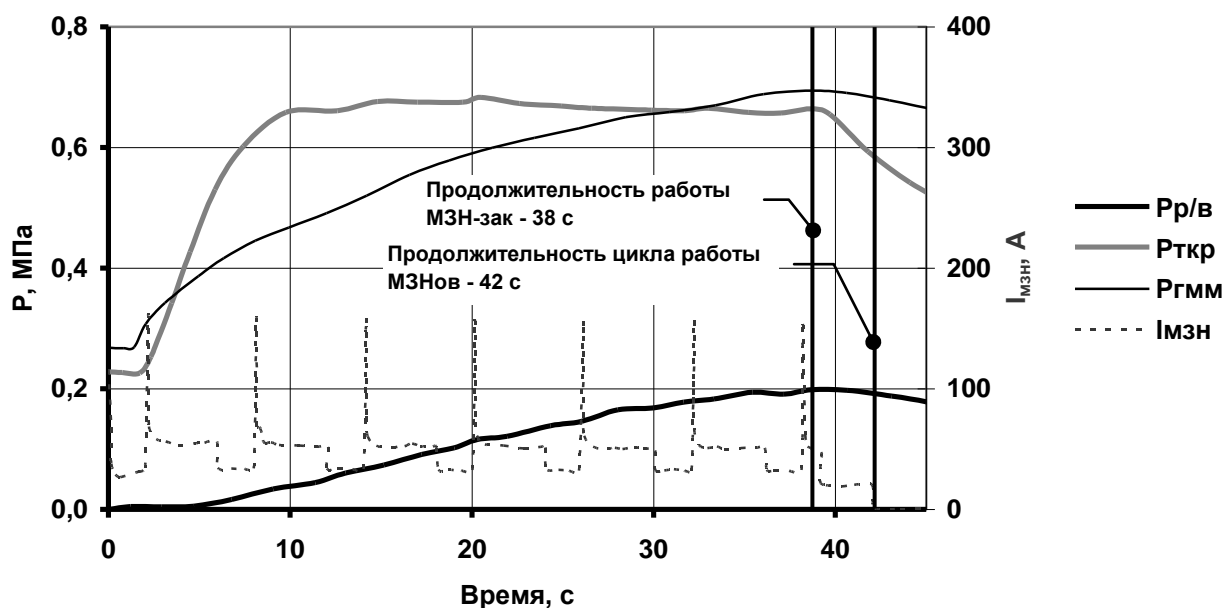


Рисунок 4 – Осциллограммы цикла работы МЗНов ( $t_{окр}=-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{м\text{ } б\text{ } ср}=34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{м\text{ } ГММ}=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{м\text{ } кар}=-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Дополнительный маслобак с электронагревателем мощностью 400 или 500 Вт не оказывает заметного положительного влияния на прогрев маслозаборной трубы, на тепловое состояние масла и двигателя при работе СТМ, поэтому его из конструкции СТМ можно исключить.

Приведены результаты пусковых испытаний дизеля с КСПЗ в различных вариантах конструктивного исполнения (рисунок 5). Системы СТМ и ПВВ обеспечивают пуск двигателя без предварительного разогрева на масле М-12В<sub>2</sub>РК при температурах окружающего воздуха до минус 20 °С за время, не превышающее 5 мин. При этом продолжительность пуска составляет 3...5 с, а давление масла в ГММ при работе МЗН по выбранной циклограмме появляется через 2...3 с и составляет 1,2 МПа.

При совместной работе СТМ, ПЖД и ПВВ пуск двигателя при температурах окружающего воздуха от минус 25 °С до минус 40 °С обеспечивается за время, не превышающее 20 минут. При температуре минус 45 °С суммарные затраты времени на пуск составляют 22 минуты, а при минус 50 °С – 26...28 минут.

Результаты технической экспертизы дизеля после испытаний в климатической камере показали, что поверхности трения деталей, к которым масло подается под давлением (коленчатый и распределительные валы, детали передачи), находятся в удовлетворительном состоянии, а выявленные дефекты по цилиндро-поршневой группе (натиры на юбках поршней и гильзах цилиндров, натиры и следы нарушения покрытия поршневых колец) свидетельствуют о их недостаточной смазке. В условиях теплового состояния дизеля, обеспечиваемого СТМ и ПЖД (при ограниченном времени его работы), пуски можно проводить, ограничив их количество за период эксплуатации, с учетом сохранения надежности и работоспособности двигателя. Для улучшения условий работы и смазки трущихся деталей двигателя В-58-7МС-1 в условиях холодных пусков рекомендовано обеспечить подвод масла к коленчатому валу в район 8-й опоры.

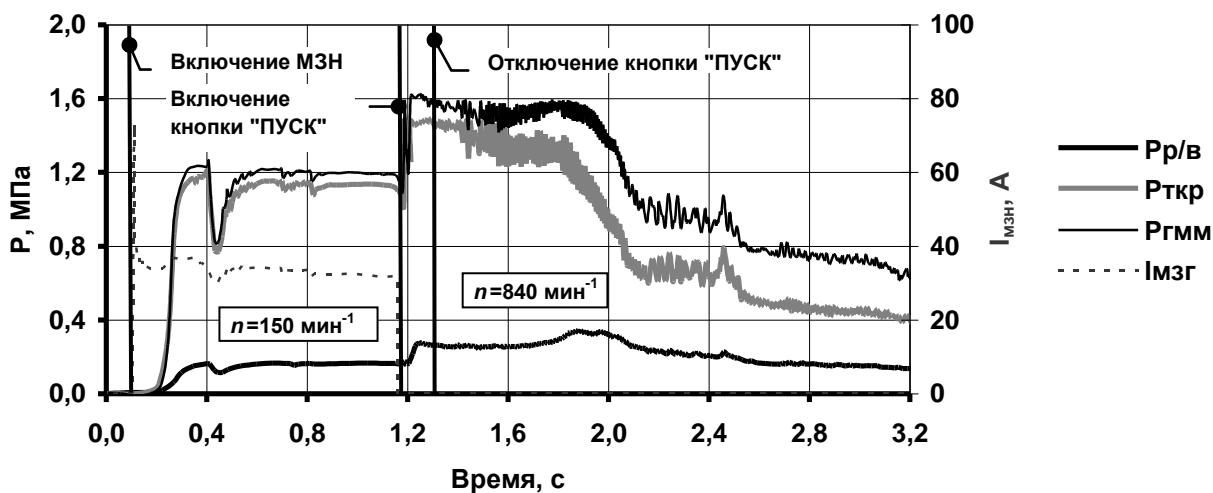


Рисунок 5 – Осциллограммы процесса пуска дизеля с ПВВ ( $t_{окр}=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , масло – М-12В<sub>2</sub>РК)

В четвертой главе обоснованы рекомендации по совершенствованию конструкции и режимов работы системы термостатирования масла в составе комбинированной системы подготовки запуска дизеля.

Взаимное влияние теплового состояния деталей дизеля, СТМ, масла, охлаждающей жидкости не всегда имеет явный характер (рисунок б), что объясняется сложностью процессов течения масла и теплообмена в элементах системы «ДВС-КСПЗ». Невозможно выявить адекватные зависимости, связывающие параметры состояния масла в СТМ и системе смазки, температур элементов, пусковых характеристик дизеля. Поэтому была разработана комплексная математическая модель процессов предпусковой подготовки дизеля с КСПЗ и СТМ, включающая: 1) уравнения для определения динамики разогрева дизеля и масла в баке СТМ; 2) математическую модель, связывающую температуру воздуха, мощность ТЭНов с температурой масла в характерных точках СТМ и системы смазки и условной средней температурой двигателя, определяемой как среднее арифметическое температур головки цилиндра, подшипников коленчатого и распределительного валов. Предложено выражение для определения условной средней температуры дизеля:

$$\frac{dt_{\text{дв ср}}}{d\tau} = \frac{N_{\text{ТЭН}} + N_{\text{ПЖД}} - K_{\text{мб}} \cdot (t_{\text{мб ср}} - t_{\text{окр}}) - K_{\text{дв}} \cdot (t_{\text{дв ср}} - t_{\text{окр}})}{C_{\text{дв}} \cdot m_{\text{дв}}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{ПЖД}}$  – мощность ПЖД, Вт;  $C_{\text{дв}}$  – условная средняя теплоемкость двигателя, Дж/(кг·К);  $m_{\text{дв}}$  – масса двигателя, кг;  $K_{\text{мб}}$  и  $K_{\text{дв ср}}$  – термическая проводимость масляного бака и двигателя соответственно, Вт/К.

С использованием экспериментальных данных определены значения величины условной средней теплоемкости  $C_{\text{дв}}=480\text{ Дж/(кг·К)}$ , термической проводимости дизеля  $K_{\text{дв}}=530\text{ Вт/К}$  и регрессионная зависимость величины термической проводимости масляного бака СТМ от средней температуры масла в баке  $t_{\text{мб ср}}$ :

$$K_{\text{мб}} = 1,3474 \cdot 10^{21} \cdot t_{\text{мб ср}}^{-8,73}. \quad (2)$$

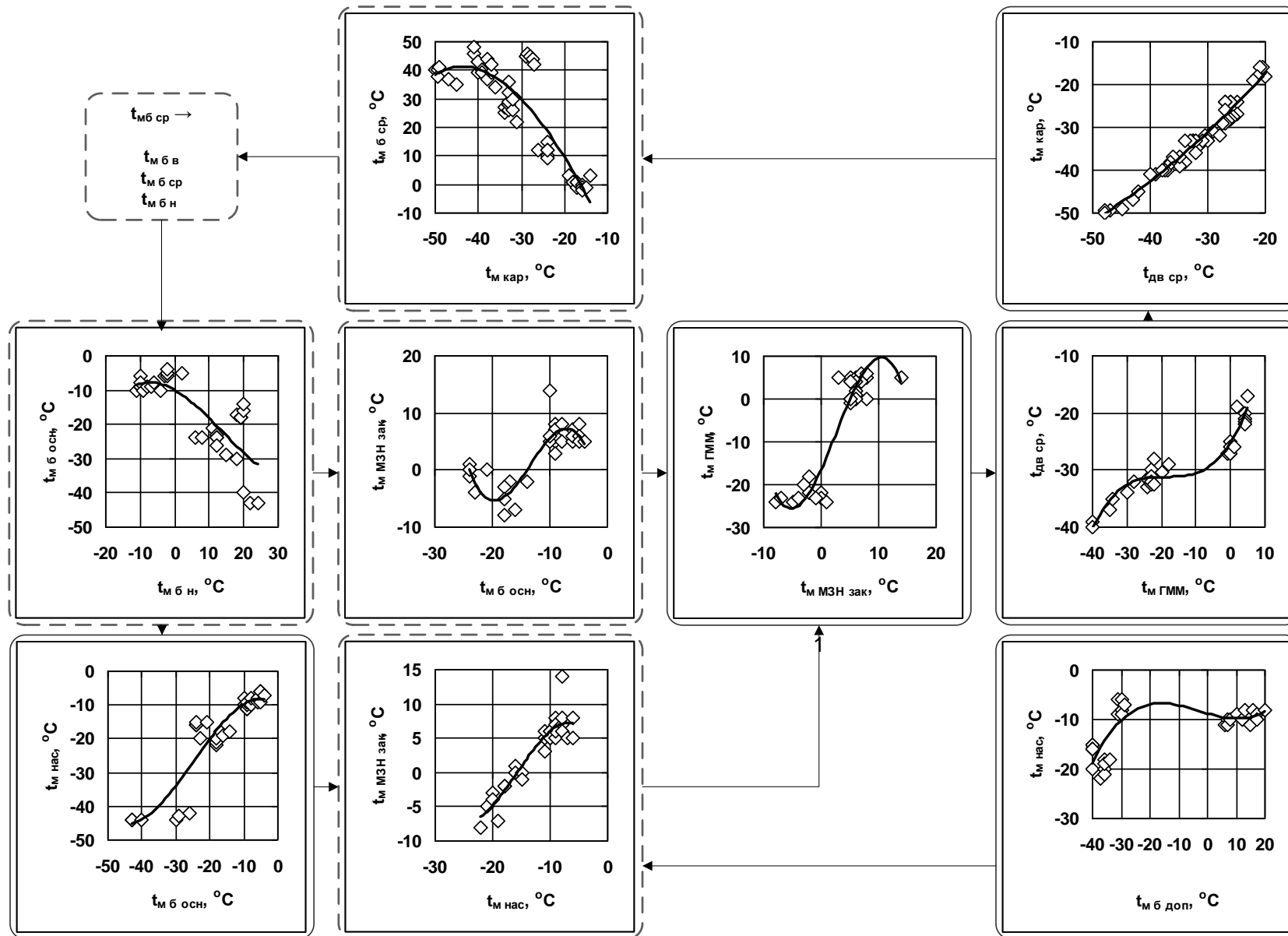


Рисунок 6 – Передаточные функции температур элементов системы «ДВС-СТМ»: — — ДВС, - - - - СТМ

Аналогично выражению (1) предложено уравнение для определения динамики изменения температуры масла в баке СТМ:

$$\frac{dt_{мбср}}{d\tau} = \frac{N_{ТЭН} - K_{мб} \cdot (t_{мбср} - t_{окр})}{C_m \cdot m_m}, \quad (3)$$

где:  $C_m$  – средняя теплоемкость масла в корпусе бака СТМ, Дж/(кг·К);  $m_m$  – масса масла в баке СТМ, кг.

Для решения задач настоящего исследования было предложено использовать математическую модель, основанную на элементах искусственного интеллекта – нейросеть. После перебора возможных конфигураций нейросетей выбор был остановлен на модели SOFMs, имеющей 2 скрытых уровня, в каждом 4 элемента класса «гиперболический тангенс». Данная структура нейронной сети соответствует модели сложной адаптивной системы, в которой все элементы связаны друг с другом за счет прямых и обратных связей. Обучение построенной нейронной сети осуществлялось по алгоритму обратного распространения ошибки, количество эпох – 2000. Для тренировки нейросети использованы экспериментальные данные (входы: время,  $N_{ТЭН}$ ,  $t_{окр}$ ; выходы:  $t_{мГММ}$ ,  $t_{двср}$ ,  $t_{мкар}$ ,  $t_{мбср}$ ,  $t_{мбн}$ ,  $t_{мбс}$ ,  $t_{мбв}$ ), которые с целью повышения точности и адекватности модели дополнены параметрами при  $N_{ТЭН}=0$  ( $t_i=t_{окр}$ , где:  $t_i$  – температура  $i$ -го элемента системы).

С использованием уравнений (1...3) и нейросетевой модели выполнена оценка влияния различных конструктивных и режимных факторов на тепловое состояние двигателя и масла в системе смазки (рисунки 7 и 8). Сходимость экспериментальных и расчетных данных составляла не менее  $R^2=0,95$ .

СТМ обеспечивает температуру масла в ГММ выше минус 20 °С при мощности ТЭНов 1000...2000 Вт и температуре окружающего воздуха не ниже минус 38 °С. Условная средняя температура двигателя превышает минус 20 °С при  $N_{ТЭН}>1500$  Вт и температуре окружающего воздуха не ниже минус 33 °С. Вышеизложенное подтверждает, что СТМ может обеспечить требуемое для пуска дизеля (без использования ПЖД) температурное состояние дизеля при  $N_{ТЭН}=1500$  Вт и  $t_{окр}>-30$  °С. Повышение мощности ТЭНов до 2000 Вт нецелесообразно, т.к. при этом уменьшается  $t_{мГММ}$  при  $t_{окр}>-30$  °С.

При температуре среды ниже минус 30 °С рекомендуется использовать совместно СТМ и ПЖД. Система термостатирования позволяет повысить температуру масла в ГММ в момент пуска на  $15\pm 5$  °С, что должно положительно сказаться на снижении износа деталей дизеля.

Для увеличения времени прокачки масла через двигатель с целью более эффективного прогрева трубопроводов и подшипников двигателя была рекомендована следующая циклограмма работы МЗН: 38 с – время непрерывной работы, 4 с – время пульсирующей работы, 60 с – перерыв в работе МЗН.

Обоснованы температурные диапазоны использования СТМ – минус 15 °С и ниже (СТМ и ПВВ от минус 15 °С до минус 30 °С, СТМ, ПЖД и ПВВ от минус 30 °С до минус 50 °С) и включения МЗН СТМ – минус 30 °С и выше.

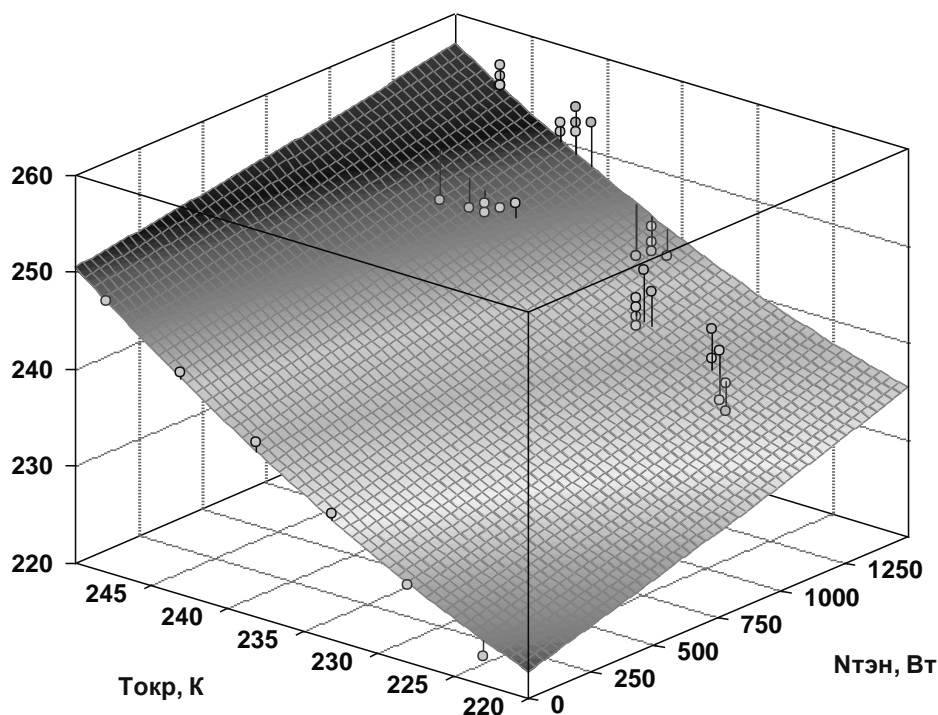


Рисунок 7 – Зависимость условной средней температуры двигателя от мощности ТЭНов и температуры окружающей среды на установившемся режиме (с экспериментальными точками), полученная с использованием выражений (1...3)

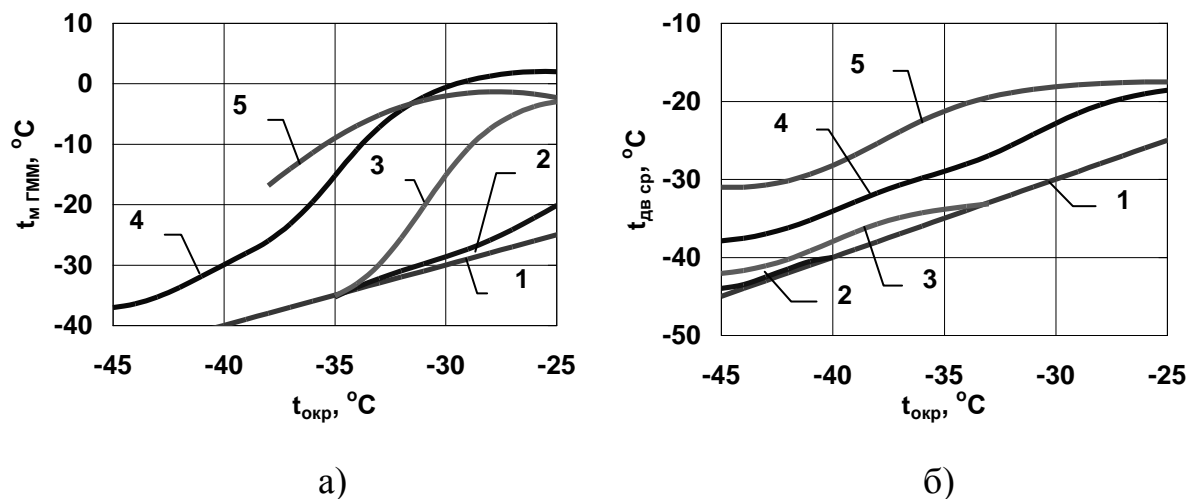


Рисунок 8 – Зависимость температуры масла в ГММ (а) и условной средней температуры двигателя (б) от температуры окружающего воздуха и мощности ТЭНов на установившемся режиме, полученная с использованием нейросетевой модели (мощность ТЭНов: 1 – 0 Вт, 2 – 500 Вт, 3 – 1000 Вт, 4 – 1500 Вт, 5 – 2000 Вт)

Расчетно-экспериментальная оценка мощности, затрачиваемой на пуск двигателя при испытаниях, показала возможность запуска двигателя в аналогичных условиях штатными устройствами при комбинированном способе запуска (сжатым воздухом и стартером).

**В заключении** приведен анализ результатов выполненной диссертационной работы, сформулированы основные выводы и рекомендации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Экспериментально определено влияние режимов функционирования и конструктивных параметров системы термостатирования масла на тепловое состояние дизеля с комбинированной системой подготовки запуска и его пусковые характеристики.

2. Разработана комплексная математическая модель процессов предпусковой подготовки дизеля с КСПЗ и СТМ, позволяющая прогнозировать тепловое состояние дизеля в зависимости от условий внешней среды, конструктивных параметров двигателя и СТМ и включающая нейросетевую модель процесса функционирования СТМ и дизеля.

3. Обоснованы режимы функционирования и конструктивные параметры системы термостатирования масла в составе комбинированной системы подготовки запуска, обеспечивающие пуск дизеля в условиях согласно требованиям действующих нормативно-технических документов:

- мощность нагревателей 1500 Вт;
- установка ТЭНов в нижней, забор масла в верхней части бака системы термостатирования масла;
- температурный диапазон использования системы термостатирования масла минус 15 °С и ниже (СТМ и ПВВ от минус 15 °С до минус 30 °С, СТМ, ПЖД и ПВВ от минус 30 °С до минус 50 °С);
- температурный диапазон включения маслозакачивающих насосов СТМ минус 30 °С и выше.

4. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что применение системы термостатирования масла в составе комбинированной системы подготовки запуска с рекомендованными конструктивными параметрами и режимом функционирования обеспечивает соответствие дизеля требованиям нормативных документов и позволяет:

- повысить перед пуском (без использования ПЖД) температуру масла в главной масляной магистрали на 10...23 °С, в картере на 5...10 °С, условную среднюю температуру дизеля на 7...8 °С;
- уменьшить время на предпусковую подготовку на 1...2 мин и обеспечить гарантированный пуск дизеля при температурах окружающего воздуха минус 25 °С за 5...8,5 мин, минус 50 °С за 21...28 мин;
- обеспечить удовлетворительное состояние поверхностей трения деталей, к которым масло подается под давлением (коленчатый и распределительные валы, детали передачи, масляный насос) в процессе пуска дизеля с комбинированной системой подготовки запуска и системой термостатирования масла.

## Основные результаты опубликованы в работах:

### *Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Малозёмов, А.А. Улучшение пусковых характеристик дизелей с комбинированной системой подготовки запуска совершенствованием конструкции и режимов работы системы термостатирования масла / А.А. Малозёмов, В.Н. Бондарь, А.А. Селедкин, **А.В. Шавлов** // Вестник академии военных наук. – № 2 (35). – 2011. – С. 30 – 34.

2. Малозёмов, А.А. Комплексная математическая модель процесса предпускового разогрева дизеля с системой термостатирования масла / А.А. Малозёмов, В.Н. Бондарь, А.А. Селедкин, **А.В. Шавлов** // Вестник академии военных наук. – № 2 (35). – 2011. – С. 227 – 232.

3. Малозёмов, А.А. Результаты экспериментального исследования влияния теплового состояния дизеля типа В-2 на его пусковые характеристики / А.А. Малозёмов, В.Н. Бондарь, П.К. Сеначин, В.И. Майоров, **А.В. Шавлов** // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/4. С. 131 – 136.

### *Публикации в других изданиях:*

4. **Шавлов, А.В.** Использование нейросетевой математической модели для анализа процесса предпускового разогрева поршневого двигателя внутреннего сгорания / А.В. Шавлов // Автомобильная техника. Научный вестник ЧВВАКИУ. – Вып. 20. – Челябинск, 2009. – С. 117–122.

5. Малозёмов, А.А. Математическая модель для расчета параметров рабочего процесса дизеля и химической кинетики образования токсичных веществ / А.А. Малозёмов, В.Н. Бондарь, **А.В. Шавлов**, А.А. Селедкин // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург : УГТУ – УПИ, 2010. – С. 89–92.

6. Малозёмов, А.А. Улучшение пусковых характеристик транспортных дизелей использованием системы термостатирования масла / А.А. Малозёмов, В.Н. Бондарь, А.А. Селедкин, **А.В. Шавлов** // Материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». Кн. 2. – М : МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 46–51.

Подписано в печать 16.04.2012. Формат 60x84 1/16.  
Печать – цифровая. Усл.п.л. 1,39. Тираж 100 экз. Заказ 2012 - 244

Отпечатано в типографии АлтГТУ,  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46. тел.: (8–3852) 29–09–48

Лицензия на полиграфическую деятельность  
ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.