

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЯ ТИПА В-2 НА ЕГО ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А.А. Малозёмов, В.Н. Бондарь, П.К. Сеначин, В.И. Майоров, А.В. Шавлов

*Приведены результаты экспериментального исследования влияния теплового состояния дизеля 12ЧН15/18 с системой термостатирования масла на его пусковые характеристики в климатической камере. Рассмотрено влияние режимов функционирования и конструктивных параметров системы термостатирования масла. Разработаны рекомендации по улучшению пусковых характеристик дизелей многоцелевых колесных и гусеничных машин с системой термостатирования масла, внедрение которых обеспечивает гарантированный пуск при температурах окружающего воздуха минус 25 °С – за 5...8,5 мин, минус 50 °С – за 21...28 мин.*

*Ключевые слова: дизель; пусковые характеристики, тепловое состояние, система термостатирования масла, климатическая камера.*

### Введение

Тактико-технические характеристики многоцелевых колесных и гусеничных машин (КГМ) во многом определяется временем предпусковой подготовки и пуска силовой установки. Минимальная температура надежного пуска дизеля на дизельном топливе без средств предпускового подогрева (СПП) и средств облегчения пуска (СОП) должна быть не более 5°С, а с использованием штатных средств облегчения пуска и маловязких масел – не более минус 25°С (пуск в течении времени не более 5 мин). Однако, учитывая тенденции развития отечественных и зарубежных КГМ, в ближайшей перспективе необходимо обеспечить минимальную температуру пуска дизеля без СОП при температуре окружающей среды минус 30°С и ниже, а со средствами облегчения пуска – при температуре минус 50°С и ниже.

Для сокращения времени предпусковой подготовки и выполнения перспективных требований к пусковым характеристикам, целесообразно совместное использование СПП и СОП в составе комбинированной системы подготовки запуска дизеля (КСПЗ), включающей систему термостатирования масла (СТМ). Преимуществами СТМ, по сравнению с другими средствами предпусковой подготовки являются: 1) малые объем и масса устройства, 2) низкое потребление энергии, 3) возможность существенного снижения времени на подготовку пуска.

Исследования Л.А. Николаева, А.П. Сташкевича, И.А. Захарова [1], Ю.В. Микулина [2] 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.

Взаимное влияние параметров деталей дизеля, СТМ, масла, охлаждающей жидкости имеет сложный и часто неявный характер, что не позволяет выявить адекватные зависимости, связывающие вязкостно-температурные характеристики масла в СТМ и системе смазки, температуры элементов дизеля и КСПЗ, пусковые характеристики при различных внешних условиях. Необходимы экспериментальные данные о влиянии режимов функционирования и конструктивных параметров СТМ на тепловое состояние дизеля с КСПЗ, его пусковые характеристики, изнашиваемость деталей.

### Объекты и методика экспериментального исследования

Объектом экспериментального исследования выбраны дизель 12ЧН15/18 (мощностью 522 кВт при 2000 мин<sup>-1</sup>) и КСПЗ, состоящая из опытной системы термостатирования масла, подогревателя воздуха на впуске (ПВВ) и подогревателя ПЖД-600. Выбор объ-

ектов обусловлен возможностью распространения результатов эксперимента на дизели типа В-2 широко, применяемые в составе многоцелевых колесных и гусеничных машин.

Испытания проводились в климатической камере ОАО «Научно-исследовательский институт автотракторной техники» (г. Челябинск). Двигатель устанавливался на перекаточный стенд, на котором смонтированы (рисунки 1):

- топливная система с расходным баком и топливоподкачивающим насосом;
- масляная система с системой термостатирования масла;
- система охлаждения с расширительным баком и предпусковым подогревателем ПЖД-600;

- 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 главной масляной магистрали (ГММ), топлива в системе ПВД, воздуха в баллонах и в системе ПВД, тахометр для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя, вольтметр для измерения напряжения на свечах ПВД.

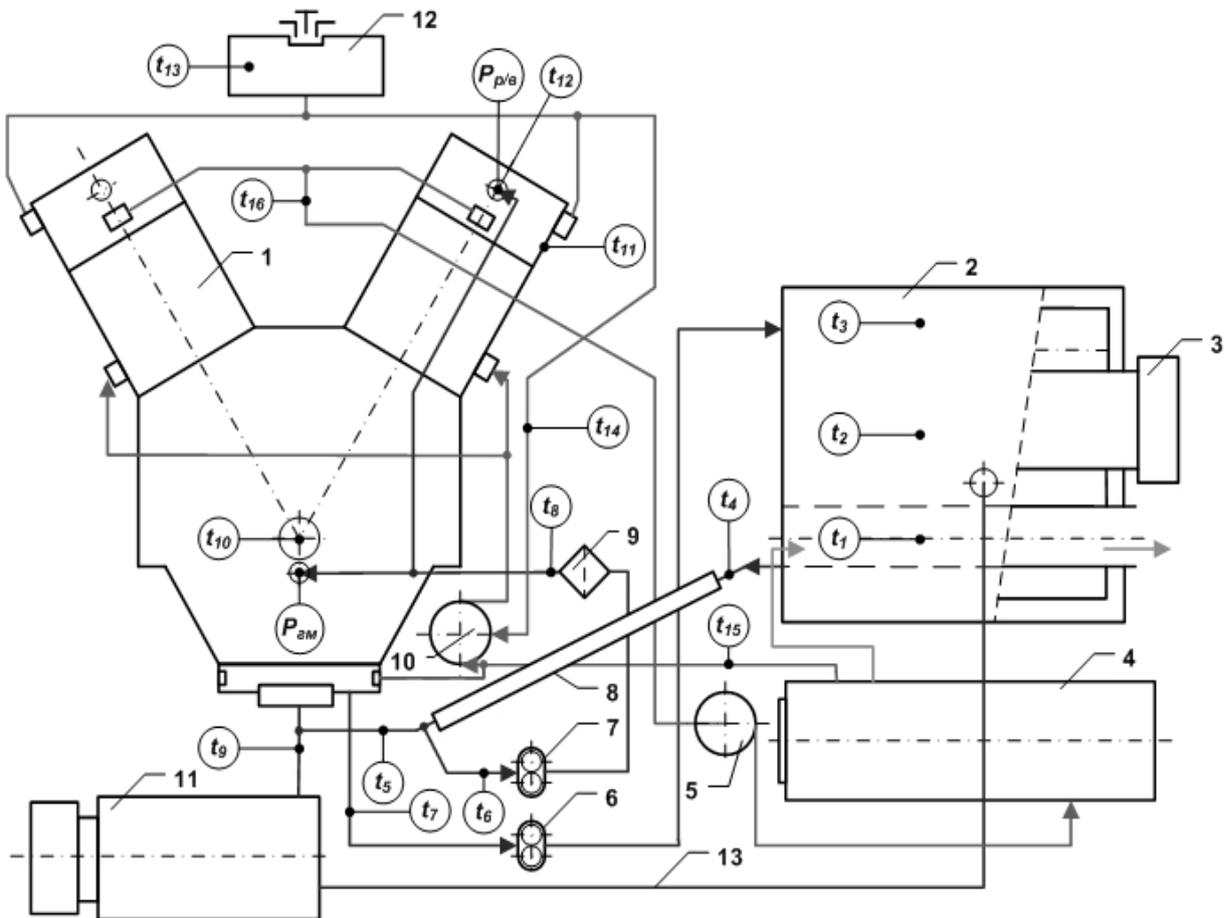


Рисунок 1 – Схема стендовой установки:

- 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 водяной двигателя, 11 – бак масляный дополнительный, 12 – бак расширительный, 13 – труба теплоизолированная между основным и дополнительным баками, P – датчики давления масла,  $t_1 \dots t_{16}$  – термометры

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЯ ТИПА В-2 НА ЕГО ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Система термостатирования масла (рисунк 1) 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 низкозамерзающей охлаждающей жидкостью и соединяются трубками с расширительным баком системы охлаждения двигателя, что обеспечивает отвод пара или жидкости при её расширении.

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

Основные этапы экспериментального исследования:

1. Определение оптимальной циклограммы работы МЗН-зак МЗН-отк при включенной системе термостатирования масла.

2. Определение эффективности применения дополнительного маслобака для прогрева масла в маслозаборной трубе (проверка термосифонного эффекта).

3. Определение эффективности СТМ с выбранной циклограммой работы МЗНов при температурах окружающего воздуха от минус 20 до минус 50°C и выбор температурного диапазона применения системы термостатирования масла.

4. Определение эффективности совместной работы СТМ и ПЖД при температурах окружающего воздуха от минус 30 до минус 50°C и обоснование выбора температурного диапазона применения системы термостатирования масла и ПЖД.

5. Пусковые испытания двигателя с различными вариантами конструктивного исполнения КСПЗ.

### Результаты экспериментального исследования

Определено тепловое состояние масла и дизеля при различных условиях и режимах функционирования СТМ. Установлено, что при температуре окружающего воздуха  $t_{окр} = -25^{\circ}\text{C}$ , мощности ТЭНов  $N_{ТЭН} = 1200$  Вт и  $t_{окр} = -30^{\circ}\text{C}$ ,  $N_{ТЭН} = 1500$  Вт (рисунок 2) система термостатирования 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°C ( $N_{ТЭН} = 1200$  Вт) и минус 30°C ( $N_{ТЭН} = 1500$  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 3).

Рекомендовано включение СТМ с работающими МЗНами производить только до температуры минус 25...30°C в зависимости от располагаемой мощности ТЭНов. Рациональная мощность ТЭНов СТМ составляет 1500 Вт.

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

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

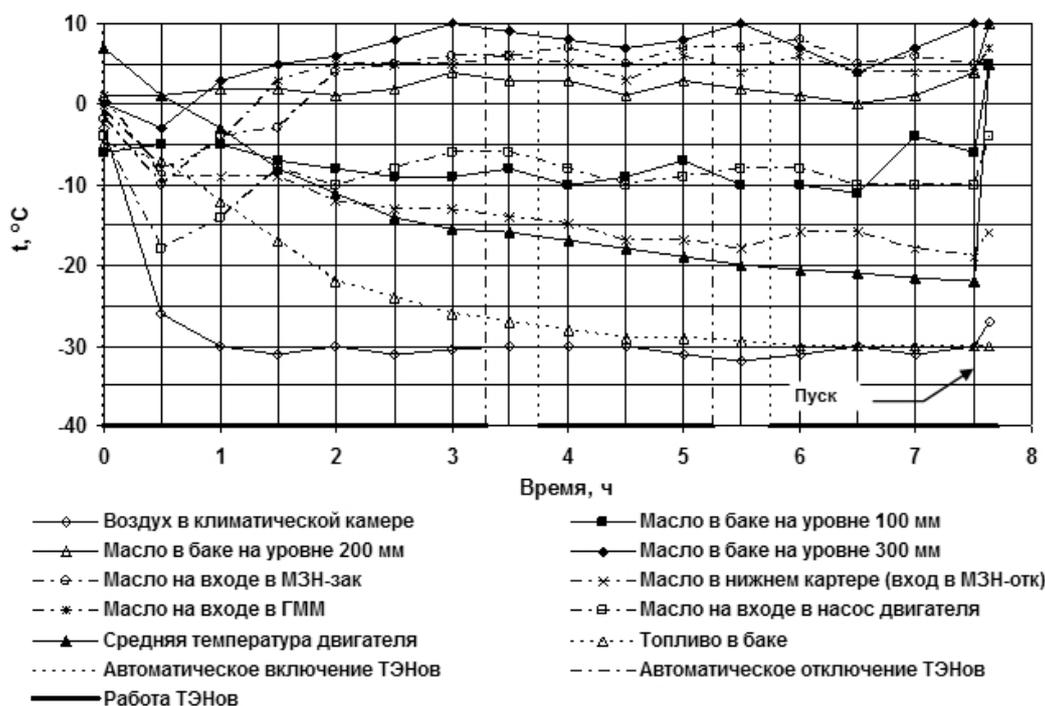


Рисунок 2 – Изменение температуры масла и двигателя при работе СТМ ( $t_{окр}=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $N_{ТЭН}=1500\text{ Вт}$ )

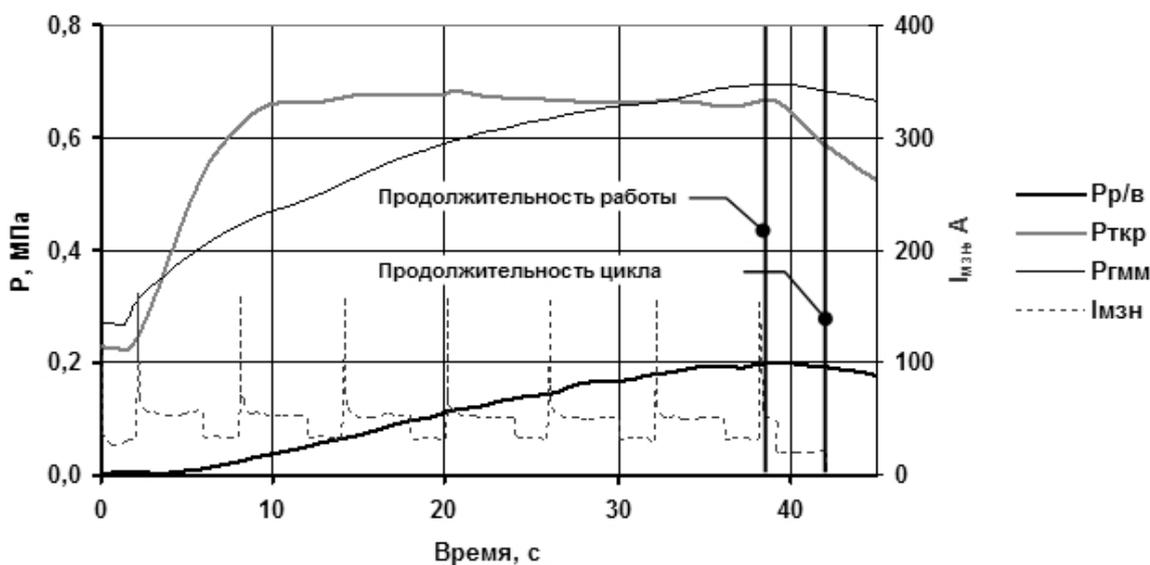


Рисунок 3 – Осциллограммы цикла работы МЗНов ( $t_{окр}=-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , средняя температура масла в баке СТМ  $t_{м\text{ ср}}=34\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура масла в ГММ  $t_{м\text{ ГММ}}=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура масла в картере дизеля  $t_{м\text{ кар}}=-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ):  $P_{р/в}$ ,  $P_{ткр}$ ,  $P_{гмм}$  – давление масла перед подшипником распревала, перед турбокомпрессором, в ГММ, соответственно,  $I_{МЗН}$  – сила тока двигателя МЗН

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЯ ТИПА В-2 НА ЕГО ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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 системы термостатирования можно исключить.

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 маслозакачивающих насосов по выбранной циклограмме, появляется через 2...3 с и составляет 1,2 МПа (рисунок 4).

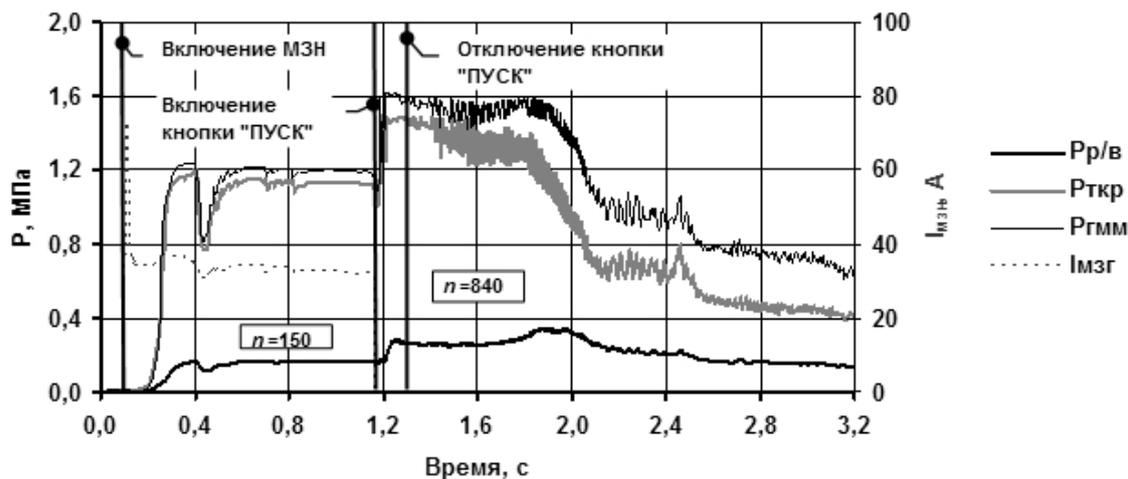


Рисунок 4 – Оциллограммы процесса пуска двигателя с ПВВ ( $t_{окр} = -20^{\circ}\text{C}$ , масло – М-12В<sub>2</sub>РК),  $n$  – частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>

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 цилиндру-поршневой группе (натиры на юбках поршней и гильзах цилиндров, натиры и следы нарушения покрытия поршневых колец) свидетельствуют о их недостаточности смазке.

В условиях теплового состояния деталей двигателя, обеспечиваемого системами термостатирования масла и ПЖД (при ограниченном времени его работы), пуски двигателя можно проводить, ограничив их количество за период эксплуатации, с учетом сохранения надежности и работоспособности двигателя. Для улучшения условий работы и смазки

трущихся деталей двигателя рекомендовано обеспечить подвод масла к коленчатому валу в район 8-й опоры.

### Выводы

Основные результаты проведенного экспериментального исследования заключаются в следующем:

1. Определено влияние режимов функционирования и конструктивных параметров системы термостатирования масла на тепловое состояние дизеля с КСПЗ и его пусковые характеристики. Доказано, что применение СТМ с рекомендованными конструктивными параметрами и режимом функционирования в составе комбинированной системы подготовки запуска обеспечивает соответствие дизеля требованиям нормативно-технической документации и позволяет:

- повысить перед пуском (без использования ПЖД) температуру масла в ГММ – на 10...23 °С, в картере – на 5...10°С, среднюю температуру дизеля – на 7...8°С;

- обеспечить гарантированный пуск дизеля при температурах окружающего воздуха минус 25 °С – за 5...8,5 мин, минус 50 °С – за 21...28 мин.

МАЛОЗЁМОВ А.А., БОНДАРЬ В.Н., СЕНАЧИН П.К., МАЙОРОВ В.И., ШАВЛОВ А.В.

2. Выполнен анализ влияния пуска дизеля с КСПЗ и системой термостатирования масла на изнашиваемость его деталей. Экспериментально доказано, что после испытаний основные мощностные и экономические параметры двигателя соответствуют Техническим условиям, а состояние поверхностей трения деталей, к которым масло подается под давлением (коленчатый и распределительные валы, детали передачи, масляный насос) нормальное, что свидетельствует об удовлетворительных условиях смазки этих деталей в процессе пуска дизеля с КСПЗ и СТМ.

3. Обоснованы режимы функционирования и конструктивные параметры системы термостатирования масла в составе комбинированной системы подготовки запуска обеспечивающие пуск дизеля в заданных условиях:

- мощность нагревателей – 1500 кВт;
- установка ТЭНов – в нижней, забор масла – в верхней части бака системы термостатирования;
- температурный диапазон 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);- температурный диапазон включения МЗН системы термостатирования масла – минус 30 С и выше.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, Л.А. Системы подогрева тракторных дизелей при пуске / Л.А. Николаев, А.П. Сташкевич, И.А. Захаров. – М.: Машиностроение, 1977. – 191 с.

2. Микулин, Ю.В. Пуск холодных двигателей при низкой температуре / Ю.В. Микулин. – М.: Машиностроение, 1971. – 216 с.

**Малозёмов А.А.**, к.т.н., доц., Южно-Уральский ГУ, Челябинск, тел. 8(351)775-22-25,

E-mail: [malozemov@gmail.com](mailto:malozemov@gmail.com);

**Бондарь В.Н.**, к.т.н., доц., Южно-Уральский ГУ, Челябинск, тел. 8(351)775-22-25,

E-mail: [gosniipt@mail.ru](mailto:gosniipt@mail.ru);

**Сеначин П.К.**, д.т.н., проф., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул, тел. 8(3852)26-05-16,

E-mail: [senachinpk@mail.ru](mailto:senachinpk@mail.ru)

**Майоров В.И.**, д.ю.н., проф., Южно-Уральский ГУ, Челябинск;

**Шавлов А.В.**, Южно-Уральский ГУ, Челябинск, тел. 8(351)267-99-00, E-mail: [admin@susu.ac.ru](mailto:admin@susu.ac.ru).