

УДК 629.113.004.67

## ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ПРЕДПУСКОВОЙ СМАЗКИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА НА ПУСКОВЫХ РЕЖИМАХ

А.С. Денисов, д.т.н., Р.И. Альмеев / Саратовский ГТУ

В Российской Федерации около 80% грузовых автомобилей и другой техники эксплуатируется в зонах с довольно продолжительным холодным периодом. Так, в районах Крайнего Севера России продолжительность зимнего периода превышает 300 дней в год, а температура воздуха опускается ниже минус 60°C [13]. В районах умеренного климата отрицательные температуры воздуха наблюдаются полгода. В этих условиях, как правило, хранение техники безгаражное. Такие условия эксплуатации предъявляют высокие требования к надежности подвижного состава автомобильного транспорта, к качеству эксплуатационных материалов и технологическому оборудованию по предпусковой подготовке.

Снижение надежности двигателей при низких температурах окружающего воздуха обусловлено: во-первых — снижением вероятности запуска исправного двигателя; во-вторых — уменьшением долговечности из-за повышенных пусковых износов.

На основании анализа особенностей протекания смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала дизельных двигателей во время пуска-прогрева [12], можно выделить следующие основные фазы:

1. Период пуска — проворачивание коленчатого вала стартером. Продолжительность данной фазы 5–20 с. Частота вращения коленчатого вала составляет 50–200 мин<sup>-1</sup>. Нагрузка на подшипники незначительная, так как отсутствует газовая составляющая.

2. Начальный период прогрева двигателя на холостых оборотах. Изменяются условия работы граничной масляной плёнки и трущихся поверхностей. Происходит увеличение частоты вращения коленчатого

того вала и нагрузки, а свежий смазочный материал еще не подается к деталям из-за снижения эффективности работы смазочной системы при низкой температуре. В результате пусковая масляная пленка начинает разрушаться из-за быстрого повышения температуры и нагрузки, снижения вязкости и несущей способности. Продолжительность данной фазы определяется запаздыванием поступления масла к трущимся поверхностям.

3. Заключительный период прогрева двигателя. Характеризуется разрушающими факторами начала прогрева. Однако темп изнашивания во время данного периода снижается, так как к трущимся поверхностям начинает поступать смазочный материал. Продолжительность прогрева определяется температурными условиями, а также эффективностью применяемых средств предпусковой подготовки.

4. Фаза установившегося смазочного процесса. Характеризуется постоянной температурой масла, а также стабильностью его расхода через подшипники.

Наиболее характерным отказом подшипников коленчатого вала является их проворачивание. Анализ причин эксплуатационных разрушений подшипников показывает, что этот отказ на современных двигателях является не просто фактом, а качественным явлением, тесно связанным с рядом конструктивных решений и особенностями эксплуатации. Процесс проворачивания шатунных вкладышей двигателя происходит вследствие их деформаций, которые определяются как параметрами самих вкладышей, так и факторами, определяющими их тепловое состояние, и, в первую очередь, условиями протекания смазочного процесса в сопряжении [5].

Исследования условий смазки на двигателях показывают, что повышенное изнашивание шатунных шеек первого кривошипа может быть вызвано недостаточным подводом масла от первого и второго коленчатых подшипников, так как они наиболее удалены

от масляного насоса и масло поступает к ним с наибольшим запаздыванием и в меньшем количестве, по сравнению с остальными подшипниками. Распределение износов шатунных шеек и шатунных вкладышей при пуске и прогреве соответствует распределению задиров по этим шейкам [15]. Причиной задиров шатунных шеек коленчатого вала также может являться расположение отверстий для выхода масла в более нагруженной зоне шейки. Это снижает расход масла и создает предпосылки для работы шатунных подшипников в условиях граничной смазки. Одной из причин проворачивания вкладышей в эксплуатации после пробега 120–160 тыс. км является нарушение гидродинамической смазки из-за недостаточного количества масла, поступающего в шатунные подшипники в связи с большим его расходом через коренные подшипники [4]. При этом запас производительности масляного насоса может быть полностью израсходован, в связи с увеличенным вследствие износа зазором в коренных подшипниках.

Таким образом, основной эксплуатационной причиной повышенного изнашивания и возникновения отказов подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей следует считать нарушение условий смазки. При недостаточном давлении масла на входе в подшипник могут нарушаться условия гидродинамического трения, в результате толщина масляного слоя может стать ниже критической, что повысит вероятность проворачивания вкладышей.

На рис. 1 приведена кривая пробега, эквивалентно одному пуску по износу в зависимости от темпера-

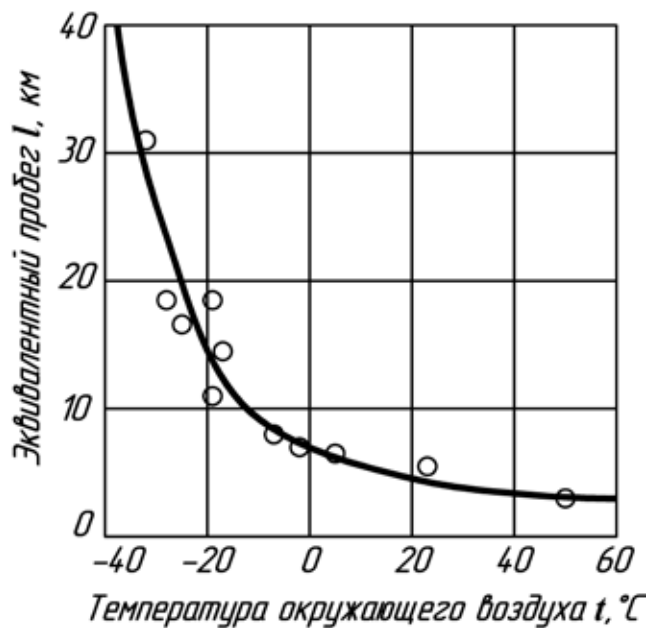


Рисунок 1. Зависимость пробега, эквивалентного одному пуску по износу, от температуры окружающего воздуха

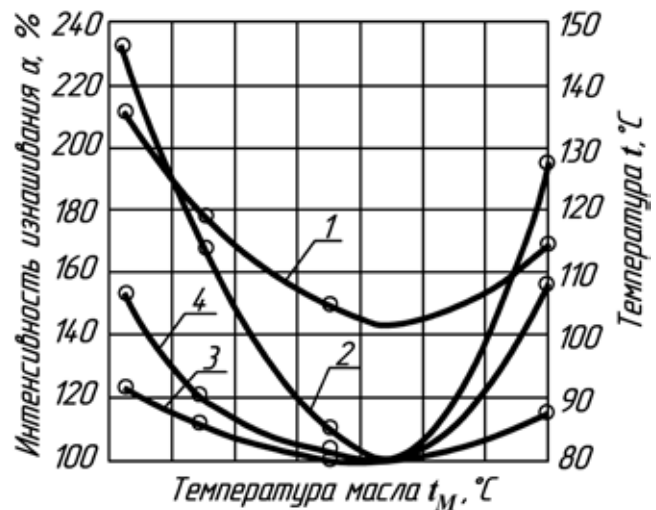


Рисунок 2. Зависимость температуры  $t$  коренных вкладышей (1), интенсивности изнашивания  $\alpha$  шатунных (2) и коренных (3) шеек, гильз цилиндров (4) от температуры  $t_M$  масла в картере двигателя [8]

туры окружающего воздуха. Видно, что в интервале температур от  $-30^\circ\text{C}$  до  $+30^\circ\text{C}$  этот пробег, а следовательно и потеря ресурса, возрастает в шесть раз.

После пуска и прогрева тепловой режим двигателя существенно зависит от температуры окружающего воздуха. Так температура охлаждающей жидкости в двигателях КамАЗ-740 при температуре окружающей среды плюс  $20^\circ\text{C}$  составляет в среднем  $86^\circ\text{C}$ , а при температуре окружающего воздуха минус  $20^\circ\text{C}$  — в среднем  $68^\circ\text{C}$  [7]. Это также существенно сказывается на интенсивности изнашивания деталей двигателей.

При низкой температуре, вследствие высокой вязкости масла, его расход через пары трения недостаточен, из-за чего температура масляной пленки и поверхности трения высокая. По мере прогрева масла расход его через пары трения возрастает, что снижает температуру поверхности трения. Дальнейшее повышение температуры масла ведет к пропорциональному увеличению температуры поверхности трения, так как расход масла через пары трения при этом уже стабилизируется [1, 8]. Для трущихся деталей двигателя существует оптимальная температура масла в картере, при которой наблюдается минимальный износ (рис. 2). Её значение зависит от режима работы сопряжения (давления на поверхность трения, скорости относительного перемещения). Чем тяжелее режим работы, тем ниже должна быть оптимальная температура масла в картере, позволяющая обеспечить оптимальную вязкость масла в зоне трения.

Для обеспечения надежного запуска в зимнее время необходимо выполнить условие: частота вращения коленчатого вала стартером должна быть

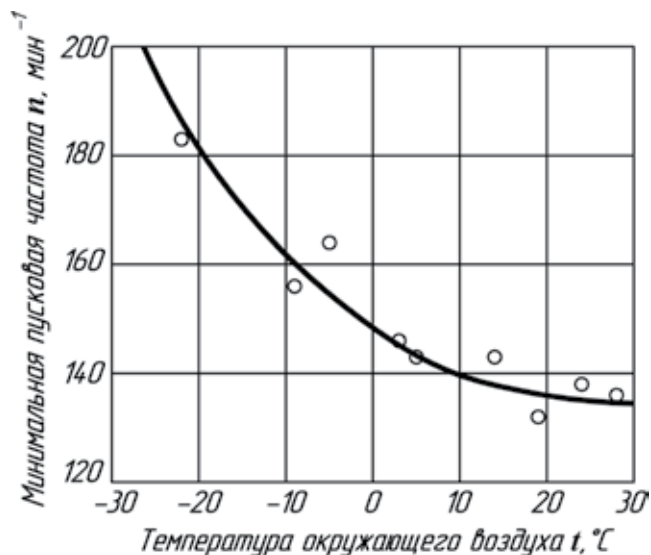


Рисунок 3. Зависимость минимальной пусковой частоты дизельного двигателя от температуры окружающего воздуха [14]

выше пусковой частоты. Минимальная пусковая частота по мере снижения температуры окружающего воздуха увеличивается (рис. 3). Частота вращения коленчатого вала стартером при снижении температуры окружающего воздуха уменьшается из-за снижения ёмкости аккумулятора, которая обусловлена повышением вязкости электролита и ухудшением условий подзарядки.

Поэтому для обеспечения надёжности зимнего запуска двигателя необходима тепловая подготовка, в том числе и индивидуальная с помощью пусковых подогревателей. Об их эффективности можно судить по данным [13] (рис. 4), из которых видно, что надёжный пуск при использовании пускового подогревателя достигается при температуре окружающего воздуха минус  $30^\circ\text{C}$ , в то время как без него — только при минус  $15^\circ\text{C}$ .

Для повышения долговечности двигателя, то есть уменьшения пусковых износов необходимо также улучшение подачи масла к парам трения при пуске за счёт предпусковой прокачки и подогрева масла.

Анализ устройств, обеспечивающих оптимизацию смазочного процесса сопряжений двигателя на режимах пуска-прогрева [2, 3] показал, что наиболее простыми по конструкции, а также по возможности реализации на современных двигателях, являются устройства по патентам РФ на изобретение № 2043510 [11] и на полезную модель № 53725 [9]. Данные устройства рассматривались в качестве аналогов при разработке устройства предпусковой смазки двигателя.

Недостатком первого устройства является отсутствие возможности автоматического включения

привода насоса на определённое, изначально заданное время перед пуском, а также после остановки двигателя. В последнем случае включение устройства необходимо для подачи масла в турбокомпрессор, ротор которого продолжает вращаться, и подшипники работают в режиме недостаточной смазки, что может привести к перегреву и повышенному изнашиванию данного узла. Рост температуры приводит к снижению несущей способности подшипников скольжения на режиме выбега ротора.

Недостатком второго устройства является необходимость внесения конструктивных изменений в систему пуска двигателя. Это связано с тем, что приводом маслозакачивающего насоса в данном устройстве служит штатный стартера двигателя.

Кроме этого, рассмотренные устройства не обеспечивают подогрева прокачиваемого масла, необходимого для снижения сопротивления вращению коленчатого вала во время пуска при низких температурах окружающего воздуха.

С целью повышения долговечности двигателя на кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» СГТУ в рамках научного направления «Функциональный тюнинг автомобилей» было разработано устройство предпусковой смазки (рис. 5), способствующее оптимизации параметров смазочного процесса на режимах пуска и прогрева (патент РФ на полезную модель № 88 737) [10]. Основной целью модернизации системы смазки путем установки данного устройства является сокращение времени

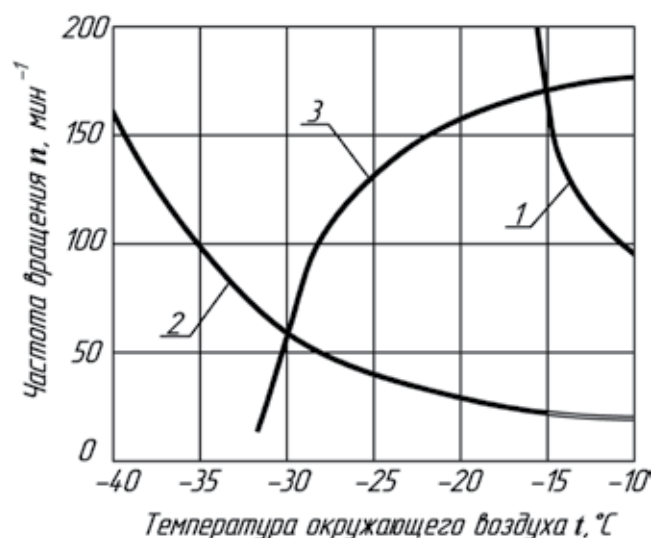


Рисунок 4. Зависимость минимальной пусковой частоты и частоты вращения коленчатого вала двигателя КАМАЗ стартером от температуры окружающего воздуха: 1 — без применения электрофакельного подогревателя; 2 — с применением электрофакельного подогревателя; 3 — частота вращения стартером

поступления моторного масла к деталям двигателя в процессе холодных пусков. Таким образом, обеспечивается сокращение времени работы подшипников коленчатого вала и турбокомпрессоров на неблагоприятных режимах.

Данное устройство имеет следующие особенности:

- использование штатных отверстий в блоке двигателя позволяет устанавливать устройство предпусковой смазки без внесения каких-либо изменений в конструкцию двигателя. Таким образом, можно проводить модернизацию автомобильных двигателей, находящихся в эксплуатации;

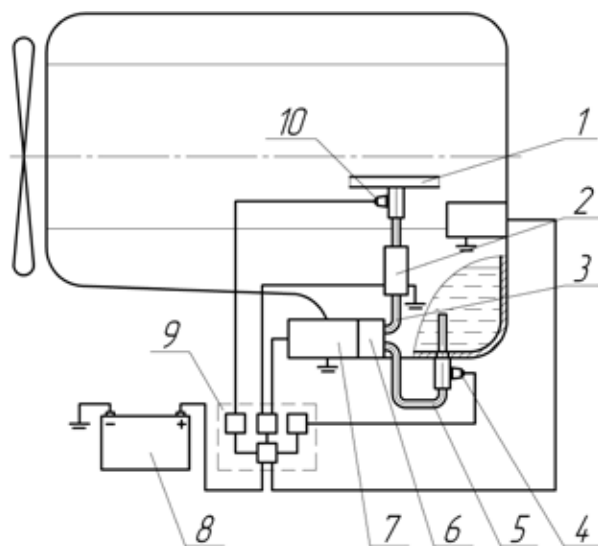
- обеспечивается подогрев прокачиваемого масла, что способствует облегчению пуска при низких температурах;

- автоматическое включение привода насоса перед пуском двигателя, а также после его остановки.

Устройство содержит маслозакачивающий насос 9 (рис. 5), кинематически связанный с автономным электроприводом 10, подключенным к бортовому автомобильному аккумулятору 15. Маслозаборный трубопровод 8 насоса с помощью резьбового штуцера, содержащего обратный клапан и сетчатый фильтр, соединен с маслосливным отверстием 6 картера 5 ДВС. Маслозакачивающий трубопровод 4 насоса через нагревательный элемент 3 посредством штуцера соединен с масляной магистралью 1 двигателя. Блок 16 управления устройством, подключенный к аккумулятору 15, содержит реле 14 давления масла, соединенное с датчиком 17 давления масла, реле 12 времени работы насоса, реле 13 включения устройства и реле 11 температуры масла. При отсутствии на двигателе штатного датчика температуры масла, устанавливается датчик температуры 7.

Устройство работает следующим образом. Перед пуском двигателя включают реле 13, обеспечивая включение нагревательного элемента 3. После прогрева последнего, с помощью реле 12 времени происходит включение электропривода 10 насоса 9, чем обеспечивается заполнение магистрали 1 маслом из картера ДВС. Реле 11 температуры масла позволяет запускать прогретый двигатель без предварительной прокачки. Закачка масла в магистраль 1 заканчивается по истечении минимально установленного времени и по достижении минимально необходимого давления масла в системе смазки.

Предложен также вариант исполнения устройства с подачей масла через маслозаливную горловину. Такое исполнение возможно не на всех двигателях в силу конструктивных особенностей системы смазки. Данный вариант является более простым по затратам на установку устройства, поскольку при



*Рисунок 5.* Схема устройства для предпусковой смазки, установленного на двигателе: 1 — масляная магистраль ДВС; 2 — стартер; 3 — нагревательный элемент; 4 — маслозакачивающий трубопровод; 5 — картер ДВС; 6 — маслосливное отверстие; 7 — датчик температуры масла; 8 — маслозаборный трубопровод; 9 — маслозакачивающий насос; 10 — автономный электропривод; 11 — реле температуры масла; 12 — реле времени работы насоса; 13 — реле включения устройства; 14 — реле давления масла; 15 — аккумулятор; 16 — блок управления; 17 — датчик давления масла

монтаже отсутствует необходимость слива масла из картера. Данная схема требует доработки крышки маслозаливной горловины, а во всасывающий патрубок устанавливается обратный клапан, чтобы предотвратить истечение масла в картер при неработающем масляном насосе.

Изготовлен опытный образец устройства для оптимизации параметров смазочного процесса и проведены экспериментальные испытания на базе ОАО «КАМАЗ-ДИЗЕЛЬ». Цель испытаний — оценка эффективности работы устройства предпусковой смазки при различных температурах масла.

При проведении испытаний в боксе № 133 Лаборатории испытания двигателей ОАО «КАМАЗ-ДИЗЕЛЬ» использовался двигатель КамАЗ 740.62-280 (заводской № А2552529), установленный на стенде фирмы «AVL» (заводской № Б133, инвентарный № 399623) с гидротормозом фирмы «SCHENCK». Испытательный стенд укомплектован необходимым оборудованием и приборами, точность которых соответствует требованиям ГОСТ 14846-81. Во время испытаний двигатель работал на дизельном топливе марки «Л-02-40» ГОСТ 305-82. В системе смазки применялось масло марки «ЛУКОЙЛ-Супер» 15W-40, в качестве охлаждающей жидкости использовалась вода.



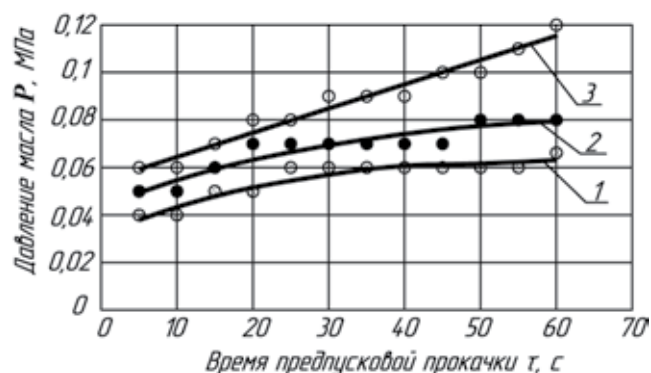


Рисунок 6. Зависимость давления в главной масляной магистрали двигателя КАМАЗ 740.62-280 от времени прокачки при различной температуре масла: 1 — 80°C; 2 — 55°C; 3 — 25°C

Порядок проведения испытаний был следующим:

1. Запускали двигатель и прогревали до рабочей температуры охлаждающей жидкости 70...90°C (температура масла  $t_m = 90...95^\circ\text{C}$ ). Прогрев начинали с минимально устойчивой частоты вращения холостого хода (800 мин<sup>-1</sup>), постепенно повышая частоту через 1,5...2 минуты на 100 мин<sup>-1</sup>. Максимальная частота вращения при прогреве двигателя до температуры охлаждающей жидкости 60°C составляла  $n = 1600$  мин<sup>-1</sup>. Далее двигатель прогревали на режиме: частота вращения коленчатого вала двигателя  $n = 1900$  мин<sup>-1</sup>, нагрузка  $P = 1000$  Н, развиваемая мощность при этом составляет  $N = 140$  кВт.

2. Останавливали двигатель и сливали масло из масляного картера, вывернув из картера сливную пробку.

3. Устройство для предпусковой смазки подключали к двигателю на стенде, для этого:

- маслозаборный и нагнетающий трубопроводы присоединяли к насосу с помощью штуцеров (резьба М18х1,5);
- маслозаборный трубопровод насоса присоединяли к маслосливному отверстию через специальный штуцер (резьба М22х1,5) с сетчатым фильтром;
- выворачивали штатный датчик давления из отверстия в главной масляной магистрали;
- нагнетающий трубопровод насоса присоединяли к отверстию в масляной магистрали двигателя через штуцер-тройник (резьба М14х1,5) с обратным клапаном;
- штатный датчик давления устанавливали в отверстие штуцера-тройника;
- электродвигатель маслонакачивающего насоса присоединяли к источнику питания через блок управления с помощью проводов и клемм.

4. Открывали горловину, предварительно очистив ее от пыли и грязи, и заливали масло до отметки «В» на указателе уровня масла.

5. Запускали двигатель на 5 минут на малой частоте вращения коленчатого вала (800 мин<sup>-1</sup>) для заполнения масляных полостей в двигателе. После остановки двигателя по истечении 4...5 минут — доливали масло до отметки «В» на указателе уровня масла. Охлаждали двигатель до температуры охлаждающей жидкости 25°C (температура воздуха в испытательном боксе).

6. Выполняли пробный запуск, обеспечивая включение насоса (время работы 30 с), проверяли правильность работы элементов системы. Визуальным осмотром проверяли отсутствие течи масла в местах соединений, при необходимости обеспечивали герметичность установкой уплотнений.

7. Прокачивали систему смазки маслом в течение 60 с, после чего запускали двигатель. После пуска выводили двигатель на режим холостого хода (800 мин<sup>-1</sup>). С помощью измерительных приборов стенда фиксировали значения рабочих параметров системы смазки (давление масла при прокачке и во время пуска двигателя, температура масла и охлаждающей жидкости, время поступления масла к деталям). Замеры повторяли последовательно при различной начальной температуре масла (25°C, 35°C, 55°C, 80°C). Каждый последующий запуск проводили по истечении 4...5 минут после остановки двигателя.

По результатам испытаний был проведен сравнительный анализ рабочих и оценочных параметров на двигателе со штатной системой смазки и двигателе с установленной системой предпусковой смазки. Результаты измерений приведены на рис. 6-8.

Из рис. 6 видно, что с понижением температуры масла увеличивается эффективность предпусковой прокачки (давление масла).

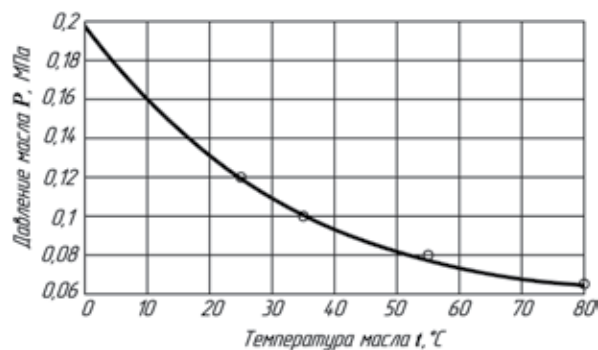


Рисунок 7. Зависимость давления в главной масляной магистрали к концу предпусковой прокачки (60 с) от температуры масла

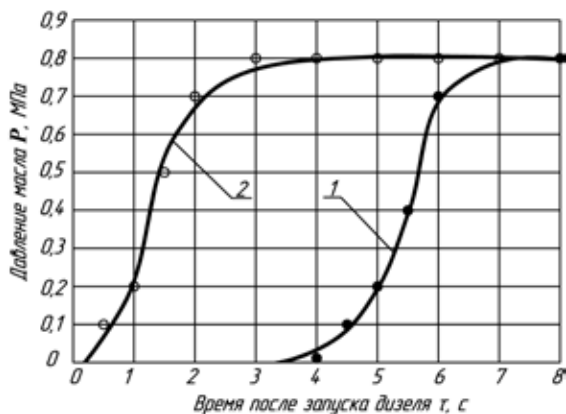


Рисунок 8. Зависимость давления в главной масляной магистрали от времени после запуска дизеля: 1 — без предпусковой прокачки; 2 — с предпусковой прокачкой в течение 60 с

Это наглядно показано на рис. 7, который по форме соответствует вязкостно-температурной характеристике масла. Экстраполяция графика (рис. 7) показывает, что при температуре масла  $0^{\circ}\text{C}$  давление к концу прокачки достигнет  $0,2$  МПа (то есть, половину штатного номинального давления [6, 7]). Предпусковая прокачка существенно сокращает время достижения номинального давления после запуска двигателя (рис. 8). Это способствует сокращению времени поступления масла к узлам трения и повышению долговечности двигателя.

По результатам испытаний были сделаны выводы об эффективности работы устройства предпусковой смазки:

1) Устройство обеспечивает поступление достаточного объема смазочного материала к подшипникам коленчатого вала перед пуском двигателя, позволяет уменьшить время поступления масла к деталям во время холодного пуска и предотвратить повышенный их пусковой износ.

2) Устройство обеспечивает поддержание давления в системе смазки перед пуском двигателя в пределах  $0,06...0,2$  МПа в зависимости от начальной температуры масла.

3) Устройство, наряду с использованием штатного пускового подогревателя, обеспечивает не только надежный запуск, но и долговечную работу двигателя.

Применение разработанного устройства целесообразно на высокофорсированных дизельных двигателях, работающих в районах с низкими температурами воздуха. В связи с этим предложенное устройство можно рекомендовать автопроизводителям грузовой техники для испытания и последующей установки на автомобили, поставляемые для эксплуатации в районы Крайнего Севера.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдоськин Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля / Ф.Н. Авдоськин. — М.: Транспорт, 1993. — 350 с.
2. Альмеев Р.И. Анализ устройств для предпусковой смазки деталей ДВС / Р.И. Альмеев // Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб. — Саратов: СГТУ, 2008. — С. 125–132.
3. Альмеев Р. И. Анализ влияния параметров системы смазки на режим работы подшипников коленчатого вала при холодном пуске двигателя / Р.И. Альмеев, А.С. Денисов // Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы: Сборник статей IV Всероссийской научно-технической конференции-семинара. — В 2-х частях. — Часть 2 — Самара: Самарский государственный технический университет, 2009. — С. 35–46.
4. Григорьев М.А. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев. М.: Машиностроение, 1976. — 248 с.
5. Денисов А.С. Обеспечение надежности автотракторных двигателей / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков. — Саратов: СГТУ, 2007. — 422 с.
6. Денисов А.С. Восстановление деталей силового агрегата КАМАЗ 740.11-240 [Euro-1]: учеб. пособие / Р.А. Азаматов [и др.]; ред. А.С. Денисов. — Набережные Челны: Полиграф. фирма ГКИ, 2007. — 307 с.
7. Денисов А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей / А.С. Денисов. — Саратов: СГТУ, 1999. — 352 с.
8. Денисов А.С. Режим работы и ресурс двигателей / А.С. Денисов, В.Е. Неустроев. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1981. — 112 с.
9. Денисов А.С. Система запуска дизельного двигателя внутреннего сгорания: пат. на полезную модель № 53725 / А.С. Денисов, Р.Д. Абушаев, С.А. Шишкин // Бюл. госуд. реестра полезных моделей РФ, 2006, № 15.
10. Денисов А.С. Устройство для предпусковой смазки двигателя внутреннего сгорания: пат. на полезную модель № 88737 / А.С. Денисов, Р.И. Альмеев // Бюл. госуд. реестра полезных моделей РФ, 2009, № 32.
11. Дмитриев А.Г. Устройство для предпусковой смазки двигателя внутреннего сгорания: пат. на изобретение № 2043510 / А.Г. Дмитриев // Б.И. 1995, № 25.
12. Лосавио Г.С. Эксплуатация автомобилей при низких температурах / Г.С. Лосавио. — М.: Транспорт, 1973. — 117 с.
13. Семёнов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур / Н.В. Семёнов. — М.: Транспорт, 1993. — 190 с.
14. Сердечный В.Н. Тепловая подготовка лесотранспортных машин при безгаражном содержании / В.Н. Сердечный. М.: Лесная промышленность, 1974. — 124 с.
15. Смирнов В.Г., Лучинин Б.Н. Повышение долговечности деталей автомобильных двигателей за счет совершенствования конструкции систем смазки. — М.: НИИНавтопром, 1980. — 59 с.