

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ПРЕДПУСКОВОЙ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье описаны основные положения разработки расчетно-экспериментальной методики оценки ресурсоэкономичности режима пуска автомобильного двигателя, позволяющей определять области его предпусковых температур, при которых за однократный пуск расходуются технический и топливно-энергетический ресурсы с минимальными потерями на предпусковую тепловую подготовку.

Ключевые слова: режим пуска, автомобильный двигатель, тепловая подготовка, смазочный процесс, ресурсоэкономичность.

Одной из актуальных проблем при эксплуатации автомобилей остается обеспечение пусковых качеств двигателей при низких температурах окружающей среды. Она решается применением различных способов и средств облегчения пуска, в том числе путём предпусковой тепловой подготовки систем двигателя. Вместе с тем, в данных условиях пуска, наряду с повышением пусковой частоты, сокращением длительности попыток запуска и т.п. важно добиваться снижения пусковых износов, поскольку они составляют по разным оценкам от 2...15% до 50...75% от эксплуатационного износа [1]. При этом акцентировать внимание необходимо на повышение долговечности подвижных сопряжений, лимитирующих ресурс двигателя в большей степени и являющихся источниками существенных затрат при отказе. Такими сопряжениями являются подшипники коленчатого вала. При холодных пусках, особенно при низких температурах окружающей среды, параметры смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала существенно отклоняются от номинальных значений, что является причиной интенсификации процессов изнашивания, приводящих, зачастую, к таким катастрофическим видам отказов, как задир и проворачивание вкладышей.

Практически важным вопросом остается обоснованный выбор средства предпусковой тепловой подготовки для конкретного двигателя и определение рациональных условий их использования. Из-за недостатка в четких критериях и, соответственно, обоснованных рекомендаций, субъективно предлагают и применяют самые разнообразные средства, зачастую,

недостаточно эффективные. Использование средств тепловой подготовки двигателей в заданных условиях эксплуатации должны быть рациональными, в том числе по степени их влияния на эксплуатационные затраты из-за снижения пусковых износов и расхода энергии или топлива на разогрев двигателя.

В настоящее время изучение закономерностей изнашивания и пусковых износов деталей двигателей на режиме пуска сталкивается с рядом проблем при экспериментальных исследованиях. Вместе с тем, решение этих проблем открывает новые возможности и позволяет выявить резервы повышения долговечности двигателей, прежде всего, путем рационального использования средств предпусковой тепловой подготовки двигателя.

В работах [2]–[7] разработаны математические модели, экспериментальные методики и средства оценки смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала автомобильных двигателей, которые были использованы для разработки комплекса методов повышения долговечности двигателей. Вместе с тем, имеющаяся методологическая база может быть использована при решении задачи определения рациональных условий использования средств тепловой подготовки автомобильных двигателей.

Таким образом, настоящее исследование, направленное на облегчение пуска двигателя при одновременном повышении его ресурса за счет рационального использования средств предпусковой тепловой подготовки, является актуальными.

Получены следующие основные положения и результаты исследования [8]–[9].

1. Показатель ресурсоэкономичности режима пуска автомобильного двигателя

Под ресурсоэкономичностью режима пуска в работе понимается совокупность эксплуатационных свойств двигателя, характеризующих его техническое совершенство по степени расходования технического ресурса и топлива при запуске и прогреве до определенной температуры в заданных условиях эксплуатации.

На режиме пуска двигателя происходит повышение температуры моторного масла в системе смазки, которое является следствием протекающих в двигателе процессов тепловыделения от трех источников теплоты: сгорающее топливо, трение подвижных сопряжений, внешний источник. Внешним источником теплоты является средство тепловой подготовки двигателя, у которого может быть внутренний источник энергии в виде топлива или внешний – в виде электрической энергии от сети или от аккумуляторной батареи. При использовании, например, предпускового бортового электрического нагревателя масляного фильтра, расход емкости аккумуляторной батареи компенсируется дополнительным расходом топлива двигателем на режиме пуска.

В работе были проанализирован смазочный процесс на режиме пуска при разных тепловых состояниях системы смазки, а именно одного из его элементов – масляного фильтра. Установлено, что нагретое перед запуском масло в фильтре до 70–80 °С значительно снижает гидравлическое сопротивление в фильтрующем элементе, что обеспечивает в первые секунды после страгивания коленчатого вала повышенную подачу масла к ближайшим от фильтра коренным и шатунным подшипникам. Это способствует эффективному отводу выделяющейся при трении теплоты и нормализации смазочного процесса в подшипниках.

Таким образом, тепловая подготовка системы смазки приводит на режиме пуска к нормализации смазочного процесса и уменьшению интенсивности изнашивания подшипников, а с другой стороны – к дополнительным затратам на топливо и приобретение средства тепловой подготовки для нагрева масла.

В связи с этим, оценку эффективности режима пуска при тепловой подготовке двигателя предлагается производить с помощью показателя ресурсоэкономичности K_{IQ} . Его значение

равно сумме экономии затрат на ремонт двигателя K_I за счет повышения ресурса (уменьшения пусковых износов) и дополнительных затрат на расход топлива K_Q из-за тепловой подготовки и приобретение средства для её осуществления K_S , приходящаяся на однократный пуск:

$$K_{IQ} = K_Q - (K_I + K_S) = R_L L_{ПИ} \left(1 - \frac{I_i^{ТП}}{I_i^{БС}} \right) - \left[R_Q Q_T^{БС} \left(1 - \frac{Q_T^{ТП}}{Q_T^{БС}} \right) + K_S \right], \tag{1}$$

где R_L – экономия затрат на ремонт двигателя от уменьшения на 1 км. эквивалентного по износу пробега при однократном пуске, руб./км; $L_{ПИ}$ – эквивалентный по износу пробег при однократном пуске, км; $I_{i.x}^{ТП}$ и $I_{i.x}^{БС}$ – значения удельной интегральной интенсивности изнашивания подшипников на режиме пуска с применением тепловой подготовки и без тепловой подготовки (в базовом состоянии); R_Q – затраты на 1 мл топлива, руб./мл; $Q_T^{БС}$ и $Q_T^{ТП}$ – объем топлива, израсходованный на прогрев двигателя, без тепловой подготовки (в базовом состоянии) и с тепловой подготовкой, мл.

Эквивалентный по износу пробег при однократном пуске определяется по формуле, полученной Г.С. Лосавио:

$$L_{ПИ} = \frac{270}{T_{ДВ}^0 + 40}. \tag{2}$$

В формуле (1) используется вновь введенный параметр I_i – «удельная интегральная интенсивность изнашивания подшипников коленчатого вала», определяемый по формуле:

$$I_i = (1 - E_g) \frac{N_i}{N_i^{max}}, \tag{3}$$

где E_g – текущее значение параметра «интегральная степень существования смазочного слоя в подшипниках коленчатого вала»; N_i^{max} и N_i – индикаторные мощности двигателя максимальная и текущая соответственно, кВт.

Параметр E_g «интегральная степень существования смазочного слоя в подшипниках коленчатого вала» даёт обобщенную оценку смазочного процесса в системе подшипников коленчатого вала. Его значение определяется по формуле:

$$E_g = k+m \sqrt{\prod_{i=1}^{i=k} P_{g.i}^{kp} \prod_{j=1}^{j=m} P_{g.j}^{sp}}, \tag{4}$$

где $P_{g,i}^{kp}$ – вероятность существования смазочного слоя в i -ом коренном подшипнике; $P_{g,j}^{sp}$ – вероятность существования смазочного слоя в j -ом шатунном подшипнике; k и m – число коренных и шатунных подшипников соответственно.

При работе двигателя параметр E_g принимает безразмерные значения от 0 до 1 и зависит от множества конструкторско-технологических и эксплуатационных, факторов:

$$E_g = E_g(M_{кр}, n, h_{кр}, \mu(T_m), T_{вх}, p_{II}, \Delta, \dots), \quad (5)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент на коленчатом валу, Н·м; n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹; $\mu(T_m)$ – зависимость динамической вязкости масла (Па·с) от температуры масла T_m (°C); $T_{вх}$ – температура масла на входе в подшипник (°C); p_{II} – давление масла на входе в подшипник, МПа; $h_{кр}$ – критическая толщина смазочного слоя, м; Δ – диаметральный зазор в подшипнике, м.

Формула (3) в общем виде получена, исходя из допущения, что интенсивность изнашивания пропорциональна относительной длительности контактирования трущихся поверхностей $(1 - E_g)$ и доли индикаторной мощности (N_i / N_i^{max}) , вырабатываемой двигателем в момент контактирования. Параметр безразмерен и принимает значение от 0 до 1, которое показывает, какую долю составляет интенсивность изнашивания подшипников коленчатого вала на текущем режиме работы двигателя относительно интенсивности изнашивания на режиме номинальной мощности при постоянном контактном взаимодействии подшипников.

На холостом ходу двигателя индикаторная мощность равна мощности механических потерь, и формула (3) принимает следующий частный вид:

$$I_{i,x} = (1 - E_{g,x}) \frac{n_x(a_m + b_m S n_x / 30)}{n^{max}(p_e^{max} + a_m + b_m S n^{max} / 30)}, \quad (6)$$

где a_m и b_m – экспериментальные коэффициенты, величины которых зависят от числа цилиндров, отношения хода поршня к диаметру цилиндра и от типа двигателя; S – ход поршня, м; n и n^{max} – текущая и номинальная частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹; p_e^{max} – среднее эффективное давление при номинальной частоте, МПа. Параметры S , n^{max} и p_e^{max} являются паспортными данными для конкретной модели двигателя.

При прогреве двигателя на холостом ходу значения параметров Δ и $h_{кр}$, а также вязкостно-температурная характеристика масла $\mu(T_m)$ в модели (5) являются неизменными, а параметры n , $T_{МП}$ и p_{II} зависят от времени t на режиме пуска и тепловой подготовки двигателя TP . Это позволяет определять значения параметра E_g в зависимости от текущих значений частоты вращения коленчатого вала n , температуры масла $T_{МП,x}$ и наличия тепловой подготовки TP , используя модель $E_g(T_{МП}, n, t, TP)$.

Учитывая, что температура масла $T_{МП}$ зависит от начальной температуры двигателя $T_{ДВ}^0$ и времени t прогрева, т. е. $T_{МП}(T_{ДВ}^0, n, t)$, то модель (6) примет обобщенный вид:

$$I_i = f(E_g, T_{ДВ}^0, n, TP, t). \quad (7)$$

Значения постоянных параметров R_L , R_Q , K_S , входящих в формулу (1), устанавливаются исходя из конкретной модели двигателя, марки топлива и средства тепловой подготовки. Так, например, для двигателей семейства ВАЗ, бензина АИ-95 и электрического нагревательного устройства масляного фильтра «Теплостарт» значения соответственно: $R_L = 1$ руб./км; $R_Q = 0,035$ руб./мл; $K_S = 0,56$ руб.

Остальные параметры, входящие в формулу (1), являются функциями от начальной температуры двигателя $T_{ДВ}^0$, т. е. $I_i^{TP}(T_{ДВ}^0)$, $I_i^{BC}(T_{ДВ}^0)$, $Q_T^{BC}(T_{ДВ}^0)$ и $Q_T^{TP}(T_{ДВ}^0)$, и их вид определяется в результате экспериментальных исследований, описанных ниже. Учитывая эти обстоятельства, показатель ресурсоэкономичности режима пуска является функцией от начальной температуры двигателя, т. е. $K_{IQ} = f(T_{ДВ}^0)$. Тогда, условием рационального использования тепловой подготовки двигателя является $K_{IQ} > 0$.

2. Методика и результаты экспериментальных исследований закономерностей показателя изнашивания подшипников коленчатого вала и расхода топлива автомобильного двигателя на режиме пуска при тепловой подготовке системы смазки

Экспериментальные исследования проведены с использованием одного из средств тепловой подготовки системы смазки, основанном на нагреве масляного фильтра перед запуском электрическим нагревателем «Теплостарт» (модель НЭАП-М) фирмы «МР Универсал», работающим от бортовой сети автомобиля.

Исследования проводились на автомобильном бензиновом двигателе ВАЗ-111940. Каждый опыт включал запуск и прогрев двигателя до достижения температуры охлаждающей жидкости 40 °С. Двигатель испытывался в двух состояниях системы смазки: без нагрева («БАЗА») и с нагревом масляного фильтра («ПМФ») длительностью 15 мин. (исходя из технической характеристики нагревателя). С помощью термопар, погруженных внутрь масляного фильтра, и мультиметра MS 828 было установлено, что за время работы нагревательного устройства средняя температура масла внутри фильтра поднимается с 10 до 90 °С.

На первом этапе исследовался смазочный процесс в подшипниках коленчатого вала. Двигатель испытывался в зимних условиях на специально изготовленном моторном стенде в климатическом боксе лаборатории. Двигатель после работы в течение 1 ч на холостом ходу остывал не менее 12 ч для достижения начальной температуры $T_{ДВ}^0$, диапазон которых составил от +5 до -18 °С. Значения параметра E_g измерялись с дискретностью 0,1 сек. по специальной методике при помощи измерительно – вычислительного комплекса «Автоматизированная система оценки смазочного процесса», которые были разработаны в ОГУ [10].

Показатели $t, n, T_{ДВ}$ определялись с дискретностью 0,2 сек. при помощи мотор-тестера «МТ-10» с адаптером АМД-4СОК через стандартный диагностический разъём электронного блока управления двигателя и записывались с помощью встроенной программы.

Для каждого опыта рассчитывались по формуле (6) мгновенные значения показателя I_i на каждой стадии пуска.

На втором этапе проводилось исследование часового расхода топлива G_T . Автомобиль эксплуатировался в реальных зимних условиях городского движения. Опыты проводились в утренние часы после стоянки в неотапливаемом гараже не менее 12 ч. Замер пусковых характеристик двигателя осуществлялся с помощью мотор-тестера «МТ-10» при начальных температурах двигателя $T_{ДВ}^0$ от -2 до 18 °С.

Таким образом, в основу экспериментальных исследований была положена укрупненная модель, содержащая входные ($T_{ДВ}^0$, тепловая подготовка масляного фильтра TP) и выходные ($n, t, E_g, T_{ДВ}, G_T$ и определяемые зависимости $I_i = (T_{ДВ}^0, n, t, TS)$ и $Q_T = (T_{ДВ}^0, t, TP)$) переменные, где Q_T – объём израсходованного топлива за время t .

Для каждого опыта был проведен анализ динамики параметров I_i и Q_T . Исходной информацией послужили массивы данных о значениях параметра E_g, G_T и частоты вращения коленчатого вала n в зависимости от длительности измерения t .

Установлены закономерности средних на режиме пуска значений параметров I_i и $Q_T^{пуск}$ (мл) представленные на рисунке 1, и регрессионных моделях (8-11):

$$I_i^{BC} = -3,291 \cdot 10^{-7} T_{ДВ}^0{}^2 - 2,3755 \cdot 10^{-6} T_{ДВ}^0 + 61,66 \cdot 10^{-5}; \quad (8)$$

$$I_i^{III} = 2,006 \cdot 10^{-7} T_{ДВ}^0{}^2 + 2,9423 \cdot 10^{-6} T_{ДВ}^0 + 25,91 \cdot 10^{-5}; \quad (9)$$

$$Q_T^{BC} = -0,0389 T_{ДВ}^0{}^2 - 4,105 T_{ДВ}^0 + 101,47; \quad (10)$$

$$Q_T^{III} = -0,0969 T_{ДВ}^0{}^2 - 4,7403 T_{ДВ}^0 + 104,72. \quad (11)$$

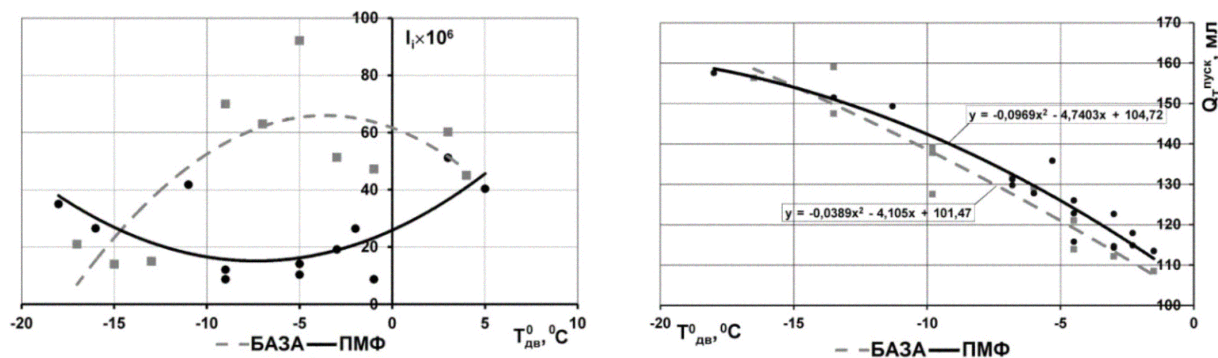


Рисунок 1. Зависимости средних значений параметров I_i и $Q_T^{пуск}$ от $T_{ДВ}^0$ в исследуемых тепловых состояниях смазочной системы смазки

Анализ полученных зависимостей показывает, что интенсивность изнашивания подшипников в диапазоне $T_{ДВ}^0$ от +5 до -14 °С существенно отличается в зависимости от теплового состояния масляного фильтра. В состоянии «ПМФ» обеспечивается уменьшение интенсивности изнашивания в среднем в 2,7 раза, причем в диапазоне от 0 до -8 °С уменьшение наиболее значительно, и составляет 3,6 раза, однако увеличивается объем израсходованного топлива в среднем на 5%.

Результаты исследований подтвердили ранее выдвинутые предположения, что применение способа предпусковой тепловой подготовки автомобильного двигателя при низких температурах на основе бортового электрического нагревателя масляного фильтра с одной стороны приводит к уменьшению интенсивности изнашивания I_i подшипников коленчатого вала, с другой стороны – увеличивает расход топлива Q_T за общее время запуска и прогрева.

3. Методика определения условий рационального использования средства предпусковой тепловой подготовки автомобильного двигателя

Результаты экспериментальных исследований показали, что функция показателя ресурсоэкономичности режима пуска от $T_{ДВ}^0$ двигателя ВАЗ-111940 при использовании нагревательного устройства «Теплостарт» имеет вид:

$$K_{IQ} = 1 \frac{270}{T_{ДВ}^0 + 40} \times \left(1 - \frac{0,2006 T_{ДВ}^0{}^2 + 2,9423 T_{ДВ}^0 + 25,912}{-0,3291 T_{ДВ}^0{}^2 - 2,3755 T_{ДВ}^0 + 61,657} \right) + 0,035(-0,0389 T_{ДВ}^0{}^2 - 4,105 T_{ДВ}^0 + 101,47) \times \left(1 - \frac{-0,0969 T_{ДВ}^0{}^2 - 4,7403 T_{ДВ}^0 + 104,72}{-0,0389 T_{ДВ}^0{}^2 - 4,105 T_{ДВ}^0 + 101,47} \right) - 0,56. \quad (12)$$

Задача определения условий рационального использования решена на основе анализа зависимости показателя K_{IQ} от $T_{ДВ}^0$, представленной на рисунке 2.

Рассмотрим зависимости составляющих K_Q , K_I и K_S от начальной температуры двигателя $T_{ДВ}^0$. Составляющая уменьшения затрат на текущий ремонт двигателя K_I определяется увеличением пробега автомобиля до текущего ремонта из-за снижения пробега, эквивалентного пусковому износу, вследствие уменьшения интен-

сивности изнашивания подшипников коленчатого вала. Значение в диапазоне температур $T_{ДВ}^0$ от +4 до -14 °С $K_I > 0$, и достигает максимума 6,3 руб. при $T_{ДВ}^0 = -9$ °С. Составляющая увеличения расхода топлива за общее время запуска и прогрева в этом же диапазоне температур $K_Q < 0$, и достигает минимума при $T_{ДВ}^0 = -5$ °С. Составляющая амортизации затрат на приобретение нагревательного устройства не зависит от температуры и составляет 0,56 руб.

Установлено, что использование бортового электрического нагревателя масляного фильтра «Теплостарт» рационально в диапазоне начальных температур двигателя $T_{ДВ}^0$ от +4 до -14 °С, поскольку выполняется условие $K_{IQ} > 0$. Максимальная эффективность применения $K_{IQ} = 5,6$ руб. достигается при $T_{ДВ}^0 = -9$ °С.

Установление температурных условий рационального использования нагревателя «Теплостарт» явилось предпосылкой для совершенствования алгоритма его работы, направленного на автоматическое управление включением и отключением нагревательного устройства с учетом конкретных температурных условий эксплуатации и состояния аккумуляторной батареи, позволяющее обеспечить наибольшую эффективность работы смазочной системы. Включение нагревательного устройства производится в случае, когда температура охлаждающей жидкости, определенная по встроенному штатному датчику температуры, входит в рациональный диапазон $T_{ДВ}^0$ от +4 до -14 °С, а момент отключения – по таймеру через 15 мин. Изготовлен и испытан опытный образец блока управления нагревательным устройством.

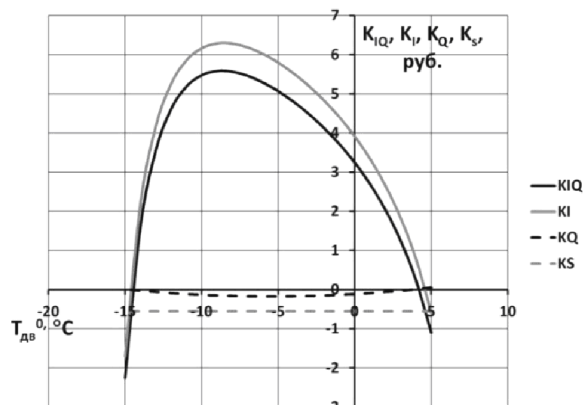


Рисунок 2. Зависимости показателя K_{IQ} и его составляющих K_I , K_Q и K_S от начальной температуры двигателя $T_{ДВ}^0$

Проведенное исследование позволяет отразить основные результаты и сделать следующие выводы.

1) Для определения условий рационального использования средств предпусковой тепловой подготовки автомобильных двигателей предложена методика, позволяющая расчетно-экспериментальным путем установить зависимость эксплуатационных затрат на однократный пуск от начальной температуры двигателя, и получить области этих температур, при которых на режиме пуска достигаются минимальные затраты.

2) Для оценки эксплуатационных затрат на однократный пуск двигателя предложен показатель ресурсоэкономичности режима пуска, показывающий влияние тепловой подготовки двигателя на изменение затрат на ремонт двигателя за счет уменьшения пусковых износов и дополнительных затрат, связанных с расходом топлива на разогрев и прогрев на холостом ходу и приобретением средства тепловой подготовки. Для оценки изменения пусковых износов при тепловой подготовке двигателя предложен новый параметр «удельная интенсивность изнашивания подшипников коленчатого вала».

3) Экспериментально установлено, что при тепловой подготовке системы смазки автомобильного двигателя ВАЗ бортовым электрическим нагревателем масляного фильтра «Теплостарт», температурными условиями его рационального использования является диапазон начальных температур двигателя от +4 до -14 °С.

В этих условиях происходит уменьшение интенсивности изнашивания подшипников коленчатого вала на режиме пуска в среднем в 2,6 раза, однако увеличивается объем израсходованного топлива за пуск и прогрев в среднем на 5%, что в целом обуславливает ресурсоэкономичность режима пуска в среднем в 3,9 руб., а максимальная эффективность 5,6 руб. достигается при температуре – 9 °С.

4) Для эффективной работы средства предпусковой тепловой подготовки предложен алгоритм включения-выключения нагревательного устройства в установленных рациональных температурных условиях эксплуатации.

5) Экономическая эффективность использования средства предпусковой тепловой подготовки зависит от распределения температур окружающей среды в зимний период в регионе, количества и времени пусков, среднегодового пробега автомобиля, стоимости ремонта двигателя, цены на топливо и средство. Использование нагревателя «Теплостарт» с усовершенствованным алгоритмом работы в условиях г. Оренбурга позволяет снизить годовые эксплуатационные затраты для одного автомобиля ВАЗ при среднегодовом пробеге 15000 км и двукратном (в 6 и 18 ч) пуске на 590 руб., а совместно с системой автоматического запуска автосигнализации – на 1460 руб. за счет повышения ресурса автомобильных двигателей на 12...15%.

5.08.2014

**Исследование выполнено при финансовой поддержке
Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части
государственного задания на проведение научно-исследовательской работы
«Методология обеспечения качества эксплуатации автомобильного транспорта»
(№ 1829 от 01.02.2014 г.)**

Список литературы:

1. Суранов, Г.И. Уменьшение износа автотракторных двигателей при пуске / Г.И. Суранов. – М.: Колос, 1982. – 143 с.
2. Коваленко, С.Ю. Методика оценки приспособленности автомобильных двигателей к режиму пуска / С.Ю. Коваленко, А.В. Казаков // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 10. – С.186–192.
3. Калимуллин, Р.Ф. Методика оценки режимов работы автомобильного двигателя по критерию износостойкости подшипников коленчатого вала / Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко, И.В. Тюняев, С.Б. Цибизов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 1(69). – С. 216–222.
4. Якунин, Н.Н. Переходный смазочный процесс в коренных подшипниках автомобильных двигателей / Н.Н. Якунин, Р.Ф. Калимуллин, А.Ю. Алемасцев, С.В. Баловнев, В.А. Сологуб // Справочник. Инженерный журнал. – 2002. – №7. – С. 14–20.
5. Якунин, Н.Н. Расчетная оценка условий смазки коренных подшипников автомобильных двигателей / Н.Н. Якунин, Р.Ф. Калимуллин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2000. – №1. – С. 54–58.
6. Якунин, Н.Н. Совершенствование методики оценки качества приработки подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей / Н.Н. Якунин, А.П. Фот, Р.Ф. Калимуллин // Вестник Оренбургского государственного университета, 2006. – № 9. – С. 335–342.
7. Калимуллин, Р.Ф. Разработка диагностического обеспечения подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 5 (64). – С. 101–108.

8. Казаков, А.В. Предпусковой нагрев смазочной системы автомобильного двигателя / А.В. Казаков, Р.Ф. Калимуллин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 12. – С.219–225.
9. Бондаренко, Е.В. Оценка эффективности предпускового нагрева масляного фильтра автомобильного двигателя / Е.В. Бондаренко, А.В. Казаков, Р.Ф. Калимуллин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 2 (85). – С. 153 –160.
10. Устройство для контроля состояния подшипников: пат. 66046 Рос. Федерация: МПК G 01 M 13/04 / Калимуллин Р.Ф., Коваленко С.Ю., Цибизов С.Б., Янучков М.Р. заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. – №2007112656/22; заявл. 04.04.07; опубл. 27.08.07. Бюл. № 24. – 3 с: ил.

Сведения об авторах:

Калимуллин Руслан Флорович, доцент кафедры автомобильного транспорта транспортного факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460000, г. Оренбург, пр-т Победы, 149, ауд. 10202, тел. (3532) 912226,
e-mail: rkalimullin@mail.ru

Казаков Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей факультета промышленности и транспорта Бузулукского гуманитарно-технологического института (филиал) Оренбургского государственного университета
461040, Оренбургская область, г. Бузулук, ул. Рабочая, д. 35, тел. (35342) 5-29-84,
e-mail: kav070768@gmail.com