

УДК 621.43

ВЛИЯНИЕ МОТОРНОГО МАСЛА НА ПРИЧИНЫ И ФАКТОРЫ ИЗНОСА АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Стефановский А.Б., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (619) 42-04-42

Аннотация – в статье классифицированы причины и факторы износа автотракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), проанализировано влияние моторного масла и системы смазки ДВС на данные аспекты.

Ключевые слова - двигатель, износ, моторное масло, причина, влияние.

Постановка проблемы. Несмотря на различные меры, принимаемые конструкторами автотракторных ДВС, в последних происходит более или менее интенсивный износ узлов и деталей. Это приводит к постепенному (иногда весьма быстрому) ухудшению функциональных параметров как узлов, так и всего двигателя: снижаются крутящий момент и мощность, растут удельные расходы топлива, масла и токсичность отработавших газов [1]. При определённых условиях ДВС полностью теряют работоспособность и направляются в ремонт, что существенно повышает затраты, например, в современном аграрном производстве.

Анализ последних исследований. Явления, происходящие при износе деталей ДВС, сложны и вызываются многими причинами. Поэтому для минимизации указанного износа необходимо принимать различные, иногда противоречивые меры. Некоторые из них могут значительно повысить стоимость ДВС или эксплуатации таких двигателей, поэтому целесообразность применения таких мер требует экономического обоснования. Однако восстановление изношенных ДВС – тоже весьма затратное дело.

Исключением, когда не нужно снижать интенсивность износа деталей ДВС, служит их приработка при обкатке [2]. Но при этом и после неё недопустимы режимы работы, приводящие к схватыванию материалов деталей и их задиру.

И.Б. Гурвичем [3] конкретизирована применительно к автомобильным двигателям классификация видов изнашивания, ранее предложенная М.М. Хрущевым. Но она нуждается в дальнейшей детализации, в том числе – выделении роли смазочных материалов (СМ).

Формулирование цели статьи (постановка задания). Классифицировать причины и факторы износа деталей и узлов ДВС, с учётом роли моторного масла (ММ).

Основная часть. В предлагаемой классификации причин и факторов износа ДВС выделены: А – внешние причины износа, Б – внутренние процессы при износе и В – основные влияющие факторы. Она достаточно наглядна и позволяет наметить меры для снижения износа (табл. 1). Нумерация в разделах А, Б и В условная. Между косыми чёрточками /.../ отмечены неустраняемые причины или факторы.

Известно, что в реальной эксплуатации моторных транспортных средств их узлы, в том числе ДВС, изнашиваются обычно сильнее, чем при нормальной эксплуатации (когда полностью соблюдаются требования заводов-изготовителей и отсутствуют неблагоприятные режимы работы). В предложенной классификации неблагоприятные факторы реальной эксплуатации ДВС учтены пунктами А10, А201, А211, А221, А4, Б20, Б21, В01, В11, В211, В31, В41: сама эксплуатация ДВС включает в себе много факторов, усиливающих износ.

Приведенная ниже классификация позволяет установить условия (часто идеализированные), когда эксплуатационный износ ДВС минимален (табл. 1). Анализ этих условий позволяет заключить, что необходимо:

а) как можно тщательнее очищать все рабочие среды (РС – воздух, масло, топливо и т.д.) от посторонних твёрдых и жидких частиц, а также воздух – от агрессивных газов и моторное масло – от кислот;

б) применять РС только с нормальным качеством, в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя ДВС;

в) исключить смешивание РС, имеющих разное назначение, а также применение РС не по назначению и попадание посторонних жидкостей в жидкие РС;

г) нейтрализовать вредное действие агрессивных газов и жидкостей, образующихся внутри ДВС;

д) обеспечить полужидкостное или жидкостное трение в узлах ДВС, в том числе, препятствуя убыли смазочных материалов (СМ) в них;

е) противодействовать деградации жидких рабочих сред при эксплуатации и хранении ДВС;

ж) удалять отложения со всех поверхностей охлаждаемых деталей;

з) применять материалы деталей, наиболее стойкие к коррозии и термоусталости;

и) оптимизировать скоростной, нагрузочный и тепловой режимы ДВС, препятствовать их неоптимальности за счёт применения механо- и теплоаккумулирующих систем.

Классификация причин и факторов износа ДВС**А. Внешние причины (воздействия); применение**

- /A0 Воздействия деталей ДВС взаимные при влиянии, в том числе/
 - /A00 наработки/
 - A01 деформируемости материалов
 - A02 физико-химической активности материалов
- A1 Воздействия твёрдых или жидких частиц, в том числе
 - A10 находящихся в запылённых, загрязнённых средах
 - A11 частиц нагара
 - A12 тумана атмосферы
- A2 Применение незапылённых сред, в том числе
 - A20 смазочных, в том числе
 - A200 с нормальным качеством
 - A201 с ухудшенным качеством
 - A21 топлив, в том числе
 - A210 с нормальным качеством
 - A211 с ухудшенным качеством
 - A22 охлаждающих, в том числе
 - A220 с нормальным качеством
 - A221 с ухудшенным качеством
- A3 Воздействие незапылённых сред, в том числе
 - A30 газообразных
 - A31 жидких несмазочных
- A4 Убыль смазочных материалов, вследствие, в том числе
 - A40 утечки (внутренней или внешней)
 - A41 несвоевременного пополнения
- A5 Использование конструкторских решений

Б. Внутренние процессы, вызывающие или усиливающие износ

- B0 Трение деталей, в том числе
 - B00 сухое, граничное
 - B01 (полу)жидкостное
 - B02 сопровождающееся схватыванием материалов
- B1 Деградация смазочных материалов (СМ), в том числе
 - B10 противоизносных свойств СМ
 - B11 вязкостно-температурных свойств и прокачиваемости СМ
 - B12 испарение масляной плёнки, выгорание масла, лакообразование
 - B13 накопление примесей и агрессивных веществ
- B2 Ухудшение отвода теплоты от деталей, в том числе
 - B20 при деградации охлаждающей жидкости (ОЖ); образование отложений в жидкостных каналах
 - B21 при загрязнении наружных поверхностей охлаждаемых узлов
- B3 Усталость материалов деталей, в том числе
 - B30 механическая
 - B31 термическая
- B4 Коррозия деталей, в том числе

- Б40 с участием жидкостей, в том числе
 - Б400 жидких сред в узлах ДВС
 - Б401 посторонних агрессивных
- Б41 в газообразной среде, в том числе
 - Б410 продуктов сгорания топлива
 - Б411 влажного воздуха
- Б42 фреттинг-коррозия

В. Влияющие факторы

- В0 Относительная скорость в зоне контакта, в том числе
 - В00 скоростной режим ДВС
 - В01 колебания скоростного режима
- В1 Нагрузка на детали, в том числе
 - В10 нагрузочный режим ДВС
 - В11 колебания нагрузочного режима
- В2 Рабочие температуры деталей (местная, средняя), в том числе
 - В20 тепловой режим ДВС
 - В21 колебания теплового режима и рабочих температур, в том числе
 - /В210 в пределах рабочего цикла (местные поверхностные температуры)/
 - В211 в пределах нагрузочно-скоростных циклов ДВС, а также в течение пауз между циклами
- В3 Регулировочные параметры систем ДВС, в том числе
 - В30 нормальные
 - В31 ухудшенные
- В4 Обслуживание средств очистки сред, в том числе
 - В40 нормальное
 - В41 ухудшенное (неполное и(или) несвоевременное)

к) поддерживать нормальные регулировочные параметры систем ДВС с достаточной точностью;

л) регулярно и полностью обслуживать средства очистки РС, имеющиеся на двигателях.

Каждая из перечисленных мер требует тех или иных затрат для выполнения, иногда значительных (например, для В01, В11, В211). Часть этих мер связана с использованием более удачных конструкторских решений, замедляющих износ деталей ДВС – в основном, с совершенствованием средств очистки РС. Так, благодаря выполнению в шатунных шейках коленчатых валов полостей-грязеуловителей износ этих шеек замедляется в несколько раз [3]. Ряд мер обеспечивается системой смазки ДВС.

Предполагается, что в неё заправлено свежее моторное масло (ММ), отвечающее рекомендациям завода-изготовителя ДВС и надлежащим образом сертифицированное. Для удаления из ММ посторонних частиц и капель требуется поддерживать работоспособ-

ность имеющихся средств очистки РС. Чтобы компенсировать потерю ММ при его подтеканиях и угаре в цилиндрах, периодически доливать в поддон ДВС следует только чистое свежее ММ той же марки. Поскольку ММ со временем деградирует, нужно своевременно заменять ММ в системе смазки.

Таблица 1 – Условия, когда износ деталей и узлов ДВС минимален

Код	Наименование условия
/A01/ A10 A11 A12 A2 A30 A31 A4 A5	когда интенсивность износа (ИИ) минимальна или нулевая исключить применение запылённых, загрязнённых сред подавить нагарообразование исключить впуск влажного воздуха, отфильтровать капельки тумана только с нормальным качеством исключить впуск кислотообразующих газов; нейтрализовать такие газы, образующиеся внутри ДВС исключить попадание посторонних жидкостей в РС препятствовать убыли СМ в узлах ДВС удачные конструкторские решения, снижающие износ
В00, В02 В01 В1, В20 В20 В21 В3, В4 В4	сухое, граничное трение и схватывание материалов исключить поддерживать за счёт достаточной подачи масла, имеющего нормальное качество при рабочей температуре узла противодействовать деградации сред, поддерживая достаточное их качество исключить образование отложений и удалять образовавшиеся отложения из жидкостных каналов очищать загрязнённые наружные поверхности охлаждаемых узлов применять наиболее стойкие материалы применять СМ с антикоррозионными свойствами
В00 В10 В01, В11 В20 В211 В3 В4	использовать скоростной режим ДВС, оптимальный для минимизации ИИ использовать нагрузочный режим ДВС, оптимальный для минимизации ИИ препятствовать колебаниям с помощью механо-аккумуляторной системы использовать тепловой режим ДВС, оптимальный для минимизации ИИ препятствовать колебаниям с помощью тепло-аккумуляторной системы регулируемые параметры систем ДВС – только нормальные обслуживание средств очистки РС – только нормальное

На рис. 1 наглядно представлені пути загрязнення ММ при експлуатації ДВС [2].

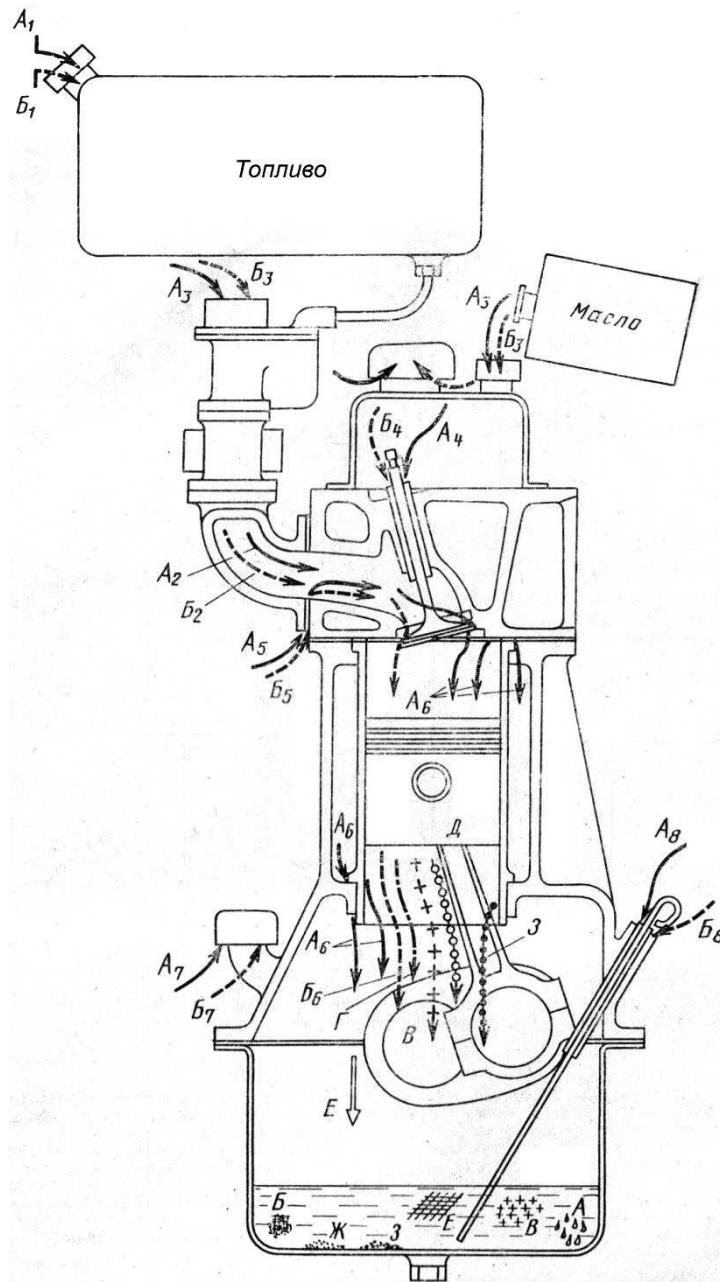


Рис. 1. Пути загрязнення моторного масла, находящегося в системе смазки ДВС:

- А – вода; Б – пыль почв и дорог; В – сажи́стые частицы;
- Г – соединения серы; Д – соединения свинца;
- Е – органические продукты окисления углеводородов;
- Ж – технологические примеси; З – продукты износа деталей

По данным работы [2], при использовании открытой вентиляции картерного пространства на двигателях ЗМЗ-24 легковых автомобилей

наилучший средний пробег до капитального ремонта достигался, когда ММ класса М-6_з/10-Г₁ заменялось через 12...24 тыс.км. При увеличении этого пробега до 48 тыс. км и более наблюдалось резкое ухудшение состояния таких ДВС – происходили зависания поршневых колец в канавках поршней и задиры поверхностей гильз цилиндров. Если же вместо открытой вентиляции применялась закрытая, то это приводило к ускоренному загрязнению внутренних поверхностей деталей и узлов двигателя (в том числе вентиляционных каналов), вследствие чего доливать масло в поддон требовалось в 2-4 раза чаще. Поэтому при использовании закрытой вентиляции картерного пространства двигателей ЗМЗ-24 рекомендовалось заменять ММ через 18 тыс.км.

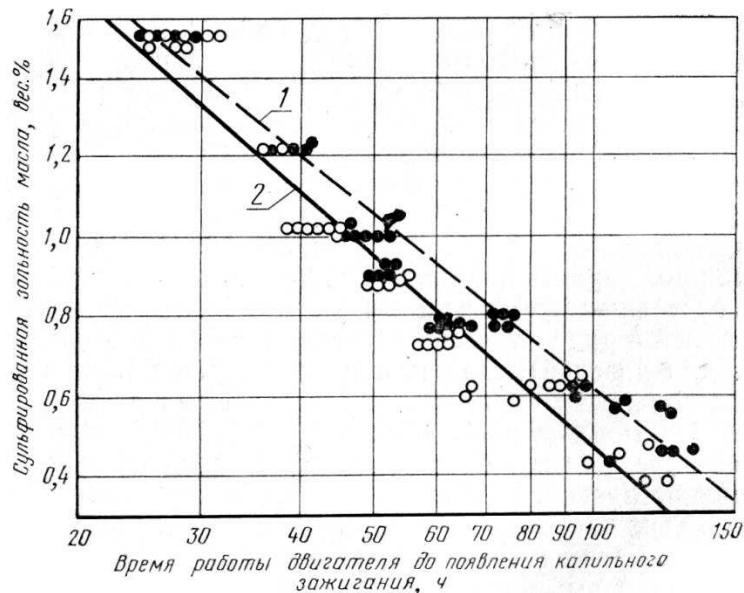
Для нейтрализации вредного действия на детали агрессивных газов и жидкостей, образующихся внутри ДВС, ММ должно иметь достаточный запас щёлочности. Дополнительно, для защиты ДВС от коррозии при низкотемпературных режимах и при хранении, в ММ могут добавляться ингибиторы коррозии (например, ИНГА-1).

Чтобы в наиболее ответственных сопряжениях ДВС было жидкостное или хотя бы полужидкостное трение, очищенное ММ нагнетается туда масляным насосом под значительным давлением. Интенсивность этого трения пропорциональна коэффициенту динамической вязкости ММ, существенно зависящему от рабочей температуры узла. Однако снижать вязкость ММ, чтобы уменьшить это трение, целесообразно лишь до 10...14 мм²/с (при 100 °С), так как дальнейшее снижение вязкости приводит к разупрочнению масляной плёнки в узлах трения и повышенному испарению ММ, выгорающего в цилиндрах ДВС. Местные значения коэффициента кинематической вязкости ММ в ответственных сопряжениях ДВС не должны быть ниже 3...5 мм²/с [2].

Для противодействия деградации ММ при эксплуатации ДВС, кроме своевременного обслуживания средств очистки и доливов свежего ММ (для компенсации расхода), оно должно содержать эффективные антиокислительные и моюще-диспергирующие присадки. Первые замедляют разрушение углеводородов ММ, а вторые удаляют с деталей загрязнения и поддерживают во взвешенном состоянии частицы примесей, попадающие в ММ при работе ДВС (в том числе капельки воды). Вследствие накопления этих примесей, постепенно возрастает вязкость ММ.

Моюще-диспергирующие присадки не должны применяться в избыточных количествах, так как это может повысить износ цилиндров, поршневых колец и канавок поршней, вследствие разупрочнения масляной плёнки и материалов деталей, образования твёрдых зольных частиц и других причин. Для высокофорсированных ДВС величина зольности ММ, обусловленной наличием моющих присадок,

по-видимому, не должна превышать 1% [2]. Кроме того, при постепенном выгорании таких присадок образуются отложения на поверхностях рабочих пространств ДВС, приводящие к опасным нарушениям сгорания (в автомобильных двигателях с искровым зажиганием). Так, по данным итальянской автостроительной фирмы FIAT, чем выше была зольность ММ, тем быстрее начиналось калильное зажигание в двигателе FIAT-124 [2] (рис. 2). Поэтому зольность ММ, рекомендованного фирмой для этого двигателя (а впоследствии – рекомендованного Волжским автозаводом для его продукции), не должна превышать 0,8%. Аналогичный результат получен на двигателе МеМЗ-968А с воздушным охлаждением, на котором, кроме того, наблюдались замыкания электродов свеч зажигания зольными отложениями.



1 – кальциевая присадка, 2 – бариевая присадка

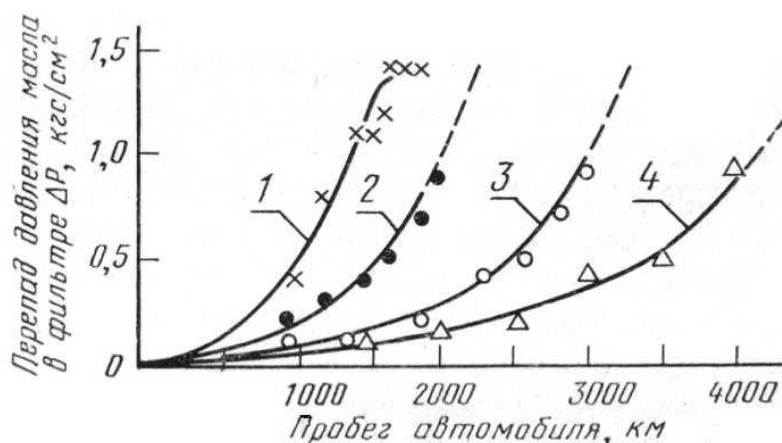
Рис.2. Влияние зольности моторного масла на наработку двигателя FIAT-124 до появления калильного зажигания (при ускоренных испытаниях)

С полученным фирмой FIAT результатом для карбюраторного автомобильного двигателя FIAT-124 согласуются данные австрийских исследователей, полученные при ускоренных испытаниях высокофорсированного двигателя, имевшего турбонаддув и впрыск бензина в цилиндры [4]. В обоих рассмотренных случаях ММ вводилось в цилиндры ДВС, но если для FIAT-124 оно подмешивалось к бензину перед карбюратором, то для второго ДВС оно впрыскивалось во впускные каналы. Отличие рабочего процесса высокофорсированного ДВС с искровым зажиганием проявилось в том отношении, что на появление калильного зажигания влияла не зольность ММ, а состав базового масла, из которого получено ММ. Так, даже при нормальном расходе

масла (0,15 г/кВтч) попадание тяжёлых алканов в надпоршневые пространства этого ДВС вызывало калильное зажигание. Чтобы этого избежать, в высокофорсированных ДВС, имеющих искровое зажигание, лучше применять синтетические ММ. Исследования этих вопросов продолжаются.

К регулировочным параметрам системы смазки ДВС можно отнести, прежде всего, уровень ММ в поддоне или масляном баке, показатели загрязнённости средств очистки (перепад давления на фильтрующей шторе, продолжительность выбега ротора центрифуги и др.), температуру в месте установки соответствующего датчика. Недостаточно частый контроль уровня ММ может привести к работе подшипников ДВС в условиях масляного голодания и отказу этих подшипников [5].

Приемлемые показатели загрязнённости средств очистки достигаются лишь при своевременном их обслуживании или замене фильтроэлементов. При повышенных интервалах между заменами ММ, такое обслуживание в ряде случаев должно проводиться с меньшей периодичностью. О степени загрязнённости масляных фильтров можно судить по перепаду давления масла, который обычно находится в пределах 100...200 кПа и возрастает пропорционально наработке ДВС [2; 6]. Для масляных центрифуг контролируется количество отложений в роторе и(или) продолжительность выбега ротора после остановки ДВС. Чем лучше моюще-диспергирующие свойства ММ, тем медленнее эти отложения накапливаются, так как примеси находятся во взвешенном состоянии, а не оседают (рис. 3) [2].



1,2,3 – ММ групп Б₂, В₂, Г₂ соответственно; 4 – ММ серии III

Рис.3. Изменение гидравлического сопротивления полнопоточного фильтра в системе смазки высокофорсированного автомобильного дизеля

Работа ДВС при открытом перепускном клапане масляного фильтра недопустима, так как при этом абразивные частицы поступа-

ют к подшипникам скольжения и ускоренно их изнашивают. Как исключение, такая работа возможна кратковременно, пока двигатель не прогрелся после пуска, но это можно устранить, подогревая ММ (и фильтр) перед пуском или применяя ММ с повышенным индексом вязкости.

Температура ММ в месте установки датчика, как правило, близка к температуре охлаждающей среды (80...100 °С). Для предотвращения перегрева ММ, приводящего к ускоренной деградации ММ и росту интенсивности износа деталей ДВС, применяются различные охладители масла. Более устойчиво жидкостное охлаждение ММ, но разгерметизация жидкостно-масляного охладителя приводит к попаданию охлаждающей жидкости в ММ и быстрой деградации последнего.

Известно, что при работе ДВС со смазкой ММ, содержащим воду, резко усиливается износ вкладышей подшипников скольжения, нижней части цилиндров, происходят их задиры. Так, опытные данные ЦНИДИ (г. Санкт-Петербург) свидетельствуют, что логарифм относительной ИИ деталей дизеля приблизительно пропорционален концентрации воды в ММ с коэффициентом пропорциональности 0,07...0,1. При эксплуатации ДВС в ММ допускается накопление до 0,5% воды, когда, в соответствии с данными ЦНИДИ, относительная ИИ по этой причине на 30...40% выше нормальной [2].

Поэтому в системах смазки отечественных тракторных дизелей ещё широко применяются воздушно-масляные охладители («радиаторы»), лишённые отмеченного недостатка, но требующие периодической очистки наружной поверхности от пыли [7].

Поскольку в ММ накапливаются металлические продукты износа, то определение их концентрации с помощью спектрального анализа позволяет судить об особенностях процесса износа ДВС [2]. Так, при износе вкладышей подшипников скольжения в ММ появляются частицы свинца, а при износе поршневых колец и гильз цилиндров – частицы хрома и железа. О запылённости ММ можно судить по концентрации в нём кремния, а о срабатывании моюще-диспергирующих присадок – бария или кальция.

Выводы. Разработанная классификация причин и факторов износа деталей ДВС охватывает основной массив этих аспектов, позволяя наметить меры для снижения износа.

Применение высококачественного моторного масла, рекомендованного заводом-изготовителем ДВС и своевременная его замена, а также периодический контроль основных показателей ММ устраняют ряд причин износа деталей ДВС и замедляют процессы, вызывающие их повышенный износ.

Литература:

1. *Кадыров С.В.* Долговечность автотракторных дизелей в условиях Средней Азии [Текст]/ С.В. Кадыров. – Ташкент: Ўқитувчи, 1982. – 272 с.
2. *Григорьев М.А.* Качество моторного масла и надежность двигателей [Текст]/ М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий. – М.: Изд. стандартов, 1981. – 232 с.
3. *Гурвич И.Б.* Испытания двигателей на долговечность: Учеб. пособие [Текст]/ И.Б. Гурвич; Горьковский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского. – Горький, 1978. – 80 с.
4. *Martin C.* Development of New Test Methods to Describe Knock and Pre-Ignition Behaviour of Fuel and Oil in Highly Charged Gasoline Engines [Текст]/ С. Martin, J. Graf, В. Geringer [et al.] // 35. Internationales Wiener Motorensymposium 2014. – 2014. – 28 p.
5. *Хрулев А.* Об экспертизе, причинно-следственных связях и экспертах. Или как правильно обнаружить виновника поломки двигателя? Часть 2 [Электронный ресурс]/ А. Хрулев. – Режим доступа: http://www.ab-engine.ru/abs/07_08_expert2.html.
6. *Чернышев Г.Д.* Повышение надежности дизелей ЯМЗ и автомобилей КраЗ [Текст]/ Г.Д. Чернышев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1974. – 288 с.
7. Тракторные дизели. Справочник [Текст]/ Под общей ред. *Б.А. Взорова*. – М.: Машиностроение, 1981. – 536 с.

ВПЛИВ МОТОРНОГО МАСЛА НА ЧИННИКИ І ФАКТОРИ ЗНОШУВАННЯ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ

Стефановський О.Б.

Анотація – в статті розглянуто класифікація чинників і факторів зношування автотракторних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), проаналізовано вплив моторного масла і системи змащування ДВЗ на дані аспекти.

INFLUENCE OF THE ENGINE OIL ON CAUSES AND FACTORS OF WEAR OF AUTOMOTIVE ENGINES

A. Stefanovsky

Summary

Classification of causes and factors of the automotive engine wear is considered in a paper. Influence of the engine oil and the lubrication system on them is analyzed.