

УДК 621.431

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

Шкрегаль А.Н., Пархоменко Л.А., Ареф'єва К.В.

INFLUENCE OF DIESEL ENGINES OPERATING MODES ON THE INTENSITY OF WRAPPING THE PARTS OF THE CROP-SHINE MECHANISM

Shkregal' A., Parhomenko L., Aref'eva K.

*Проанализированы основные причины износа деталей подшипникового узла дизельного двигателя в зависимости от режимов работы. Предложены мероприятия по уменьшению интенсивности изнашивания кривошипно-шатунного механизма в предпусковой и пусковой периоды. **Ключевые слова:** режимы работы, дизель, кривошипно-шатунный механизм, изнашивание, параметры работы, силы трения.*

Вступление. Непрерывное совершенствование двигателей в направлении улучшения их удельных мощностных и весовых показателей значительно повысило напряженность работы пар трения. Опыт эксплуатации показал, что износ двигателя внутреннего сгорания вызывается главным образом из-за несовершенства системы смазки, главной задачей которой это создать для уменьшения износа и облегчения движения между трущимися поверхностями качественный масляный слой. Слой масла, находящийся между трущимися поверхностями, частично или полностью предотвращает их соприкосновение при взаимном перемещении и тем самым уменьшает износ этих поверхностей и снижает механические потери в двигателе. Благодаря этому увеличивается срок службы двигателя, улучшаются его мощностные и экономические показатели. Кроме того система смазки удаляет из трущейся пары посторонние частицы и продукты износа, предотвращает коррозию деталей, охлаждает трущиеся поверхности, а в некоторых двигателях используется в качестве теплоносителя и охлаждает днище поршня.

Постановка проблемы. Надежность и долговечность двигателей в значительной степени зависит от совершенства системы смазки и качества масла. При этом, большое значение имеет оптимизация системы смазки: обоснование емкости системы и производительности масляного насоса; способа и количества подаваемого масла в сопряженные пары;

числа и места размещения клапанов управления давлением масла; способа включения агрегатов очистки и охлаждения масла.

В большинстве двигателей масло в основные узлы кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов подается под давлением. Подача масла – один из главных параметров, который характеризует интенсивность смазки пар трения, определяет количество масла, подаваемого для смазки и охлаждения сопряжений, и главным образом для подшипников коленчатого вала, так как кривошипно-шатунный механизм играет важную роль в работе двигателя и является основным ресурсопределяющим функциональным элементом ДВС.

Анализ статистических данных указывает на то, что КШМ среди всех систем ДВС по вероятности отказов и трудоемкости ремонта занимает первое-второе место, как в дизелях, так и в бензиновых двигателях. В частности, из практики эксплуатации автотранспортных средств установлено, что одними из сопряжений, лимитирующих ресурс автомобильного двигателя, являются подшипники коленчатого вала, на долю которых приходится 10-20 % отказов двигателя, для устранения которых требуется 50-70 % затрат на запасные части и 50-60 % трудовых затрат [1]. Это свидетельствует о том, что одной из основных причин отказов ДВС является изменение технического состояния деталей КШМ, что существенно влияет на длительность простоев техники в неработоспособном состоянии.

Анализ последних исследований и публикаций. Основными причинами отказов подшипников являются разрушение и выплавление антифрикционного слоя вкладышей, их задиры и проворачивание, чрезмерно увеличенный зазор вследствие изнашивания трущихся поверхностей вкладышей и шеек, интенсивность которого во многом зависит от хара-

ктера смазочного процесу на різних режимах експлуатації двигателів.

Відомо, що різні режими роботи двигателів вносять різний вклад в експлуатаційний знос. Так, дослідженнями встановлено, що прискорене изнашивание підшипників характерно при приработці і в умовах низкотемпературного пуску [1;2]. Однак питання про вплив експлуатаційних режимів на изнашивание рухомих сопряжених решен не в повному обсязі. Тому, від режимів пуску і навантаження ДВС залежить інтенсивність изнашивания, а, в кінцевому підсумку ресурс транспортного засобу.

Цель: визначити ефективні способи зниження сил тертя і зменшення зносу деталей кривошипно-шатунного механізму дизельного двигателю.

Изложение основного материала исследования. Експлуатація дизельного двигателю характеризується широкою варіацією параметрів теплового, навантажувального і швидкісного режимів роботи.

Прийнято вважати, що при експлуатації двигателю в підшипниках коленчатого вала переважає режим рідинної смазки. Однак в реальній експлуатації відбувається його порушення в таких розповсюджених випадках, як: пуск двигателю, коли має місце затримка надходження моторного масла до підшипників, особливо при низьких температурах, підвищують в'язкість масла; робота двигателю з великими навантаженнями при низькій частоті обертання коленчатого вала; знижене тиск масла в системі смазки, викликане забрудненням фільтруючого елемента, зниження продуктивності масляного насоса, а також зниження в'язкості масла за рахунок його перегріву або розжиження паливом; коли зазор в підшипниках перевищує допустимі величини внаслідок високої ступеня зношеності.

Зміна технічного стану внаслідок изнашивания призводить до збільшення діаметрального зазору, овальності і конусності, руйнуванню антифрикційного шару підшипника, що сприяє зниженню несучої здатності смазочного шару, зменшенню його мінімальної товщини, збільшенню ймовірності його руйнування і, відповідно, збільшенню тривалості контактної взаємодії трущихся поверхностей. Таким чином, порушення режиму рідинної смазки інтенсифікують процес изнашивания підшипників і, відповідно, ресурса.

Для кількісної оцінки стану смазочного процесу були використані наступні показники: умови смазування деталей підшипникового зв'язу дизельного двигателю 4Ч11/12,5 визначалися за значенням мінімальної товщини шару масла h_{\min} при зміні частоти обертання коленчатого вала в інтервалі 0...2200 об/хв. і температурі масла від 0 до 100 °С за формулою:

$$h_{\min} = 55 \cdot 10^{-9} \frac{\eta_t \cdot n \cdot d}{k_{cp} \cdot \psi \cdot c}, \text{ мкм} \quad (1)$$

де h_{\min} – мінімальна товщина масляного шару, мкм;

η_t – динамічна в'язкість масла, Па·с;

d – діаметр коренної шийки коленчатого вала двигателю;

n – частота обертання коленчатого вала, мин^{-1} ;

k_{cp} – середнє удільне тиск на опорну поверхність коренної шийки коленчатого вала, МПа;

ψ – відносний зазор між вкладишами і коренною шийкою коленчатого вала двигателю, мкм;

Δ – діаметральний зазор вкладиша і шийки коленчатого вала, мкм;

c – коефіцієнт, що характеризує геометрію підшипника.

Значення граничного шару масла, що характеризує перехід до сухого тертя в парі, визначається за формулою:

$$h_{кр} = h_k + h_e \text{ мкм}, \quad (2)$$

де h_k – значення параметра шерохватості поверхності шийки коленчатого вала при тонкому шлифуванні, мкм;

h_e – значення параметра шерохватості поверхності вкладиша, мкм.

Коефіцієнт надійності H роботи підшипникового зв'язу дорівнює:

$$H = \frac{h_{\min}}{h_{кр}}. \quad (3)$$

Підставляючи в (1-3) кількісні характеристики параметрів отримали, що мінімальна товщина масляного шару становила $h_{\min} = 4,78$ мкм, значення граничного шару масла $h_{кр} = 2$ мкм, а коефіцієнт надійності роботи підшипникового зв'язу $H = 2,39$.

Таким чином, розрахована мінімальна товщина шару масла $h_{\min} = 4,78$ мкм забезпечує рідинне тертя при роботі сопряжения «шейка-вкладиш» при номінальній частоті обертання коленчатого вала двигателю.

При цьому, мінімальна товщина шару масла h_{\min} між шийками коленчатого вала і вкладишами змінюється при зміні частоти обертання n і в'язкісно-температурних показників масла η_t , °С. Результати розрахунків представлені на рис.

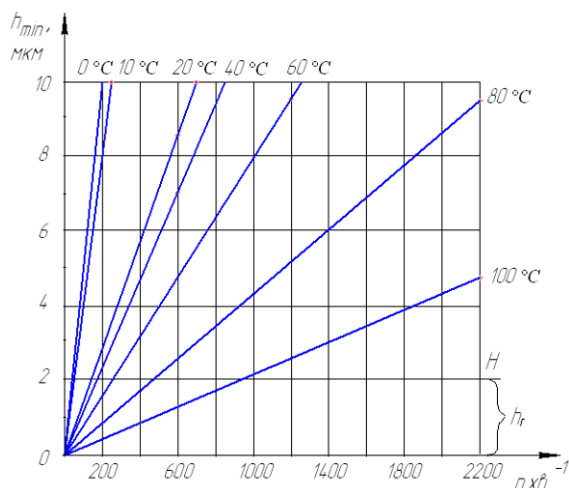


Рис. Зависимость минимальной толщины масляного слоя от частоты вращения и вязкостно-температурных показателей масла

Анализ полученных зависимостей указывает на то, что условия жидкостного трения придерживаются в широком диапазоне частоты вращения коленчатого вала от 2200 до 800 мин^{-1} при использовании масла М10Г₂ с вязкостью 9,5...11,5 $\text{мм}^2/\text{с}$ при температуре 100 °С. Это обеспечивает работу сопряженных деталей подшипникового узла с минимальным износом. Силы трения при этом определяются только внутренним трением слоев масла.

При уменьшении частоты вращения коленчатого вала от $n_{x.x}$ до $n_{\text{пуску}}$, толщина масляного слоя h_{min} уменьшается от 1,74 до 0,44 мкм, а коэффициент надежности H уменьшается от 0,87 до 0,22, жидкостное трение превращается в граничное. При частоте вращения коленчатого вала 50 мин^{-1} и меньше, шейка коленчатого вала и вкладыш разделены граничной масляной пленкой $h_{\text{min}} = 0,11$ мкм, толщина которой зависит от полярной активности молекул, которые входят в жидкость. Дальнейшее уменьшение частоты вращения коленчатого вала обуславливает возможность получения трения без слоя масла, когда трение увеличивается до значений $f=0,1...0,8$, то есть режимы смазки меняются от жидкостного до сухого трения поверхностей подшипников от $f=0,0025$ до $f=0,8$, или изменяются в 320 раз. Предельный режим смазки оказывается в период пуска и остановки двигателя, когда насос еще не обеспечивает или уже не обеспечивает подачу масла в главную магистраль, а во время пуска двигателя масло поступает к подшипникам коленчатого вала и к другим парам трения с некоторым опозданием во времени. Отсутствие масла между сопряженными парами приводит к интенсивному их износу и задирам.

Таким образом, результаты исследования указывают на то, что максимальный износ деталей кривошипно-шатунного механизма наблюдаются в режиме пуска и остановки двигателя, когда толщина масляной пленки между поверхностями трения яв-

ляется минимальной. Эффективным способом снижения сил трения и уменьшения износа деталей кривошипно-шатунного механизма может быть подача масла под давлением в главную масляную магистраль двигателя в предпусковой период.

Выводы. Подача масла к поверхностям подшипников кривошипно-шатунного механизма в предпусковой и пусковой периоды исключает сухое и граничное трение сопряженных элементов, предотвращает интенсивному износу и задирам вкладышей и шеек коленчатого вала двигателя. Повышение долговечности двигателей возможно за счет использования устройств предпускового прокачивания масла.

Л и т е р а т у р а

1. Калимуллин Р.Ф. Концепция ресурсосберегающей эксплуатации автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко // Вестник СГТУ, 2013. – Вып 2 (71). – С.29-34.
2. Козаченко О.В. Аналіз та напрямки підвищення ефективності системи мащення дизельного двигуна Д-240. / О.В. Козаченко, О.М. Шкрєгаль, А. В. Череди́нченко // Технічні системи та технології в тваринництві. Технічний сервіс машин для рослинництва // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 170. – С. 215-220.

References

1. Kalimullin R.F. The concept of resource-saving operation of automobile engines / R.F. Kalimullin, S.Ju. Kovalenko // Bulletin of CSTU, 2013. - Issue 2 (71). - 29-34p.
2. Kozachenko O.V. Analysis and ways of increasing the efficiency of the diesel engine lubrication D-240. / O.V. Kozachenko, O.M. Shkregal', A. V. Cherednichenko // Technical systems and technologies in animal husbandry. Technical service machines for plant growing // Journal of KNTUA them. P. Vasilenko. -Kharkov: KNTUA, 2016 - Issue. 170. - 215-220p.

Шкрєгаль А.Н., Пархоменко Л.А., Ареф'єва К. Вплив режимів роботи дизельного двигуна на інтенсивність зношування деталей кривошипно-шатунного механізму

Проаналізовано основні причини зношування деталей підшипникового вузла дизельного двигуна в залежності від режимів роботи та запропоновані заходи щодо зменшення інтенсивності зношування кривошипно-шатунного механізму в передпусковий і пусковий періоди.

Ключові слова: режими роботи, дизель, кривошипно-шатунний механізм, зношування, параметри роботи, сили тертя.

Shkrehal' A., Parkhomenko L., Aref'yeva K. Effect modes of the diesel engine on the intensity of wear of a crank mechanism.

The main causes of wear of the details of the bearing assembly of a diesel engine are analyzed, depending on the operation modes. Measures are proposed to reduce the wear intensity of the crank mechanism in the pre-start and start-up periods.

Keywords: operating modes, diesel, crank mechanism, wear, operating parameters, frictional forces.

Шкрегаль А.Н. — к.т.н., доцент, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенко.

Пархоменко Л.А. — к.т.н., доцент, кафедра «Теплотехніка та теплові двигуни», Український державний університет залізничного транспорту.

Ареф'єва К.В. — студ., кафедра «Теплотехніка та теплові двигуни», Український державний університет залізничного транспорту.

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 13.03.2017