

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 2 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/SWLL9958>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***А. М. Биниязов¹, А. С. Денисов²**

¹Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
Республика Казахстан, г. Уральск;

²Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю. А., Российская Федерация, г. Саратов.

*e-mail: abiniyazov@mail.ru

АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СМАЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЯ

Проведен анализ тенденций изменения параметров смазочной системы дизелей в процессе эксплуатации с количественных и качественных позиций.

С учетом экспоненциальной зависимости зазора от наработки в работе получена зависимость давления масла от наработки. В результате математической обработки экспериментальных данных определена зависимость давления в системе смазки от наработки двигателей для автомобилей КамАЗ-740 и ЯМЗ-236.

Проведенные расчетно-аналитические и экспериментальные исследования показали, что толщина масляного слоя в зависимости от наработки снижается по экспоненциальной зависимости. Математическая обработка экспериментальных данных позволила определить параметры этой зависимости для двигателей КамАЗ-740. Приведены три этапа трения, исходя из условий взаимодействия микро выступов сопряженных поверхностей. На первом этапе до величины толщины масляного слоя не менее 20 мкм наблюдается благоприятный режим жидкостного трения с очень малой вероятностью контакта микро выступов. На втором этапе при величине ТМС от 20 до 15 мкм повышается вероятность контакта микровыступов и наблюдается полужидкостное трение. На третьем этапе при $h < 15$ мкм значительно возрастает вероятность контакта микро выступов, что может привести к проворачиванию вкладышей.

Снижение вязкости масла повышает вероятность нарушения гидродинамического трения в сопряжениях. Одним из важных контролируемых параметров смазочной системы является уровень масла в картере. Однако даже при неизменном уровне качественные показатели могут значительно различаться. Это необходимо учитывать при разработке систем бортового диагностирования дизелей.

Ключевые слова: дизель, смазочная система, износ, расход масла, количественные изменения, качественные изменения.

Введение

Одной из важнейших частей дизеля, определяющих его надёжность, является смазочная система. На её долю приходится до 15 % отказов двигателя, а от её состояния зависит ещё 25 % [1, 2]. В современных автомобильных дизелях используются смазочные системы различных типов. По мере форсирования дизелей совершенствуется и смазочная система [1, 2]. Увеличивается объём масляного картера, устанавливается теплообменник вместо масляного радиатора, повышается давление масла, изменяются регулировочные параметры и вводятся другие усовершенствования.

Параметры смазочной системы дизеля значительно изменяются в процессе эксплуатации. Это можно объяснить количественными и качественными процессами (рисунок 1).

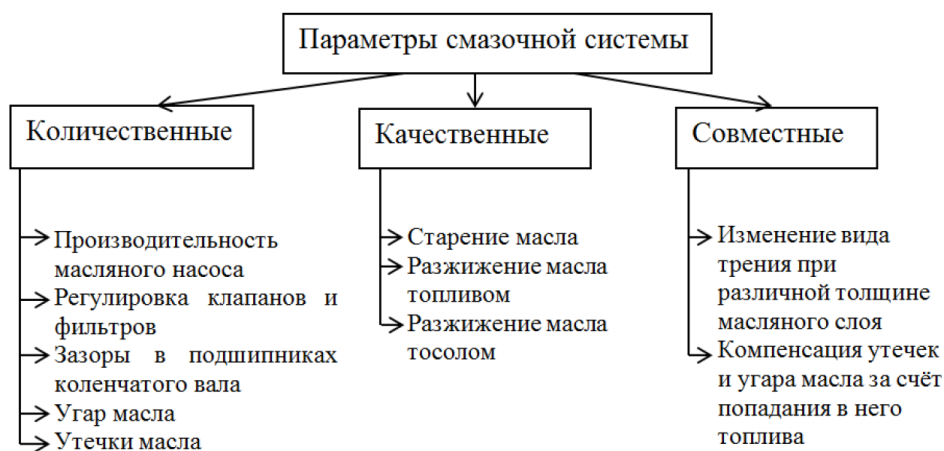


Рисунок 1 – Характеристика параметров смазочной системы

Поскольку принцип смазывания элементов двигателя различный, то и расход через них по разному изменяется в процессе эксплуатации. Так, через подшипники коленчатого вала прокачивается до 60–70 % всей подачи от масляного насоса. Редукционный клапан ограничивает давление в смазочной системе и обеспечивает стабильное давление при значительной наработке дизеля.

Материалы и методы

Подшипники коленчатого вала относятся к динамически нагруженным сопряжениям, в которых кроме действия основных нагрузок, из-за наличия зазоров в сопряжениях появляются дополнительные динамические нагрузки, обусловленные ускоренным относительным перемещением деталей в пределах зазора. Приняв по результатам исследований М. М. Хрущова прямо пропорциональную зависимость интенсивности изнашивания α от давления p в зоне трения, Ф. Н. Авдонькин [4] получил прямо пропорциональную зависимость α от износа ΔS .

Решая это линейное дифференциальное уравнение, он обосновал, что общий износ в процессе эксплуатации возрастает по экспоненциальной зависимости

$$S = S_0 e^{bl}, \tag{1}$$

а интенсивность изнашивания с учетом уравнений возрастает также по экспоненциальной зависимости

$$\alpha = \alpha_0 e^{bl}, \tag{2}$$

где α_0, S_0 – соответственно интенсивность изнашивания и износ в конце приработки, приведенные к началу эксплуатации ($l = 0$);

b – изменение интенсивности изнашивания на единицу износа деталей.

С учетом экспоненциальной зависимости зазора от наработки (1) в работе [1] получена зависимость давления масла от наработки

$$P = \frac{a}{S_0^m e^{mb l}} = P_0 e^{-b_p l}, \tag{3}$$

где $P = \frac{a}{S_0^m}$ – давление в конце приработка, приведенное к началу эксплуатации;

$b_p = m \cdot b$ – экспериментальный параметр;

a – конструктивный и режимный параметр [4].

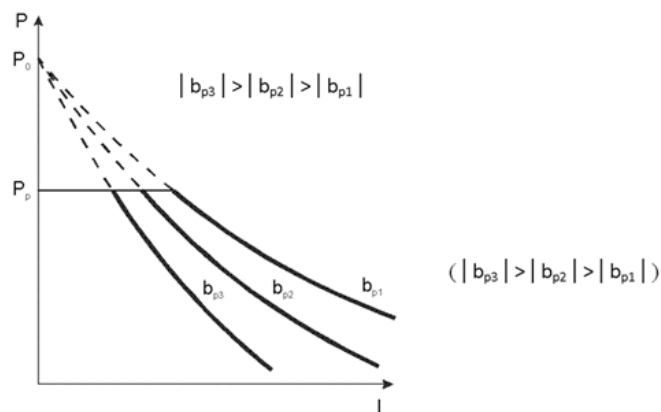


Рисунок 2 – К понятию смысла параметров p_0 и b_p : p_p – давление, ограниченное редуционным клапаном

При низком скоростном режиме двигателя давление в системе смазки снижается сразу же с начала эксплуатации, а при номинальном скоростном режиме, когда давление ограничивается редуционным клапаном, давление некоторое время после начала эксплуатации остается постоянным (согласно регулировке редуционного клапана), а затем снижается по мере увеличения зазоров в подшипниках коленчатого вала. Геометрический смысл параметров p_0 и b_p показан на рис. 2 [5, 6].

Результаты и обсуждение

Результаты математической обработки экспериментальных данных по зависимости (3) приведены на рисунок 3.

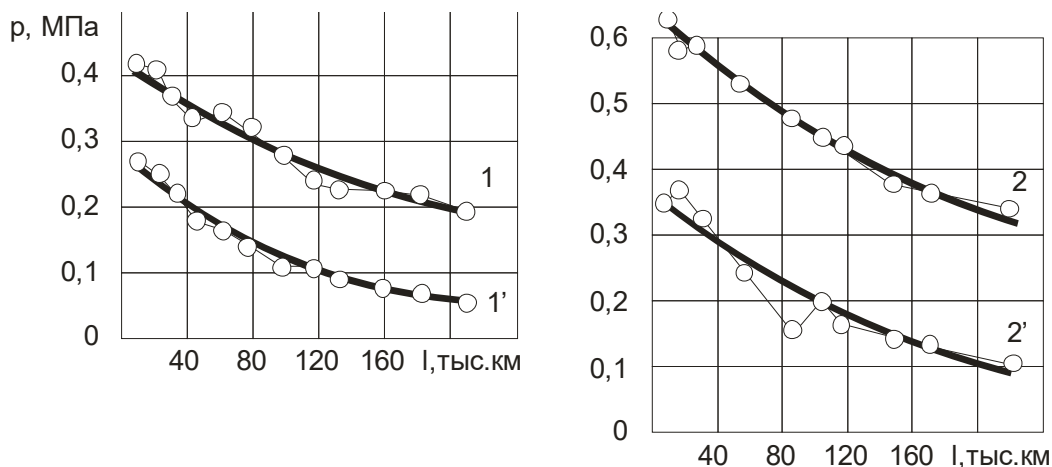


Рисунок 3 – Зависимость давления в системе смазки от наработки двигателей:
 1 – КамАЗ-740; 2 – ЯМЗ-236 (без штриха – номинальный режим, со штрихом холостого хода) [1]

Закономерное снижение давления в системе смазки двигателей изменяет условия трения подшипников коленчатого вала. Проведенные расчетно-аналитические и экспериментальные исследования [7, 8] показали, что толщина масляного слоя (ТМС) в зависимости от наработки снижается по экспоненциальной зависимости

$$h = h_0 e^{-bl}, \tag{4}$$

где h_0 – ТМС в конце приработки, приведенная к началу эксплуатации, определяемая конструктивно-технологическими параметрами подшипника, режимом работы двигателя, свойствами масла;

b – параметр, учитывающий влияние износа на интенсивность изменения технического состояния подшипника.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила определить параметры этой зависимости для двигателей КамАЗ-740 [9, 10, 11].

Зависимость (5) приведена на рисунке 4. Здесь приведены три этапа трения, исходя из условий взаимодействия микро выступов сопряженных поверхностей. На первом этапе до величины ТМС не менее 20 мкм наблюдается благоприятный режим жидкостного трения с очень малой вероятностью контакта микро выступов.

$$h = 50e^{-0,008l} \quad (r = 0,95) \tag{5}$$

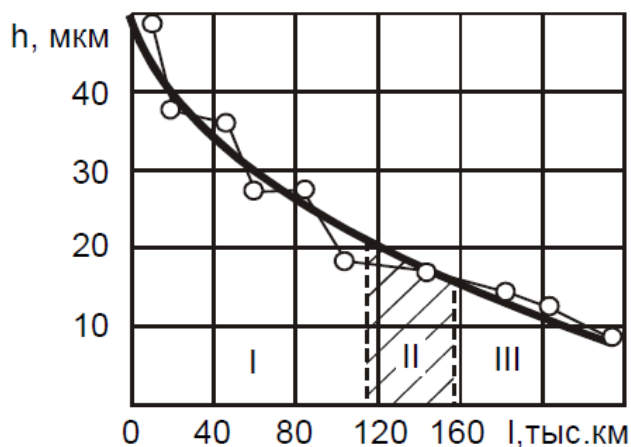


Рисунок 4 – Зависимость ТМС от наработки двигателей КамАЗ-740:
 I – область жидкостного трения; II – перехода в полужидкостное трение;
 III – полужидкостного трения

На втором этапе при величине ТМС от 20 до 15 мкм повышается вероятность контакта микро выступов и наблюдается полужидкостное трение. На третьем этапе при $h < 15$ мкм значительно возрастает вероятность контакта микро выступов, что может привести к проворачиванию вкладышей.

Расход масла на угар в процессе эксплуатации ограничивается 2–2,5 % от расхода топлива [2, 6] № Его величина возрастает после приработка (рисунок 5) по экспоненциальной зависимости (6)

$$Q = Q_0 e^{bl} \tag{6}$$

где Q_0 – расход масла на угар в конце приработки, приведенный к началу эксплуатации ($l = 0$);

b – изменение интенсивности изнашивания на единицу износа деталей.

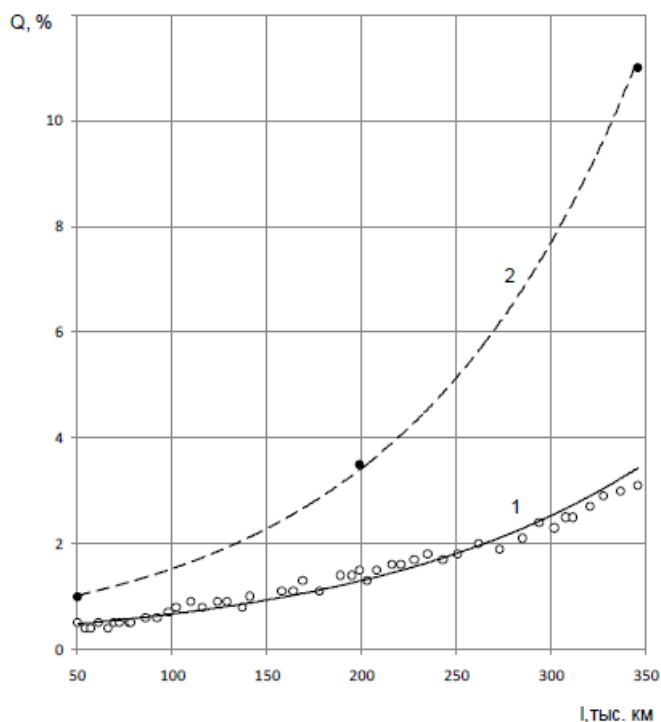


Рисунок 5 – Зависимость расхода масла на угар в % от расхода топлива двигателей КамАЗ в период после приработки: 1 – КамАЗ-Евро; 2 – КамАЗ-740
Утечки масла через неплотности не имеют чёткой тенденции в процессе эксплуатации, а по величине соизмеримы с расходом на угар

Выводы

Качественные изменения связаны с химическим составом и физическими свойствами масла. В ходе сложного процесса старения компоненты масла окисляются, полимеризуются, нейтрализуются. Это ограничивает срок службы масла. Значительные качественные изменения масла происходят при попадании в него топлива при неисправностях системы питания. Аналогичное происходит при попадании в него охлаждающей жидкости при неисправностях системы охлаждения.

Снижение вязкости масла повышает вероятность нарушения гидродинамического трения в сопряжениях. Одним из важных контролируемых параметров смазочной системы является уровень масла в картере. Однако даже при неизменном уровне качественные показатели могут значительно различаться. Это необходимо учитывать при разработке систем бортового диагностирования дизелей.

Источник финансирования исследований

Автотранспортное предприятие ООО «Газпром трансгаз Саратов» (г. Саратов), Россия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Биниязов, А. М., Денисов, А. С., Носов, А. О., Кожинская, А. В.** Повышение эффективности использования масел для форсированных автотракторных дизелей. – Уральск : ЗКФ АО «НЦТИ», 2014. – 98 с.

2 **Денисов, А. С., Биниязов, А. М.** Совершенствование профилактики смазочной системы форсированных автотракторных дизелей КАМАЗ-ЕВРО // Научный журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2017. – № 1. – С. 267–272.

3 **Захаров, В. П., Денисов, А. С., Сарсенбаева, Л. Х., Биниязов, А. М. Бралиев, А. Б.** Повышение эффективности эксплуатации форсированных автомобильных дизельных двигателей совершенствованием управления объёмом масла в смазочной системе // Научный журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2018. – № 2. – С. 106–120.

4 **Носов, А. О., Кожинская, А. В., Биниязов, А. М., Платонов, В. В.** Анализ параметров смазочной системы двигателя КАМАЗ – 740 // Наука – 21 век. – 2015. – № 1. – С. 3–9.

5 **Biniyazov A. M.** Operation maintaining of automobile forced diesel engines with ensuring of functional condition of the lubrication system in exploitation / A. M. Biniyazov, A. N. Bayakhov, A. YU. Bektilevov, R. S. Sadykov, V. P. Zakharov, L. Kh. Sarsenbaeva // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN(P): 2249-6890; ISSN(E): 2249-8001. – Vol. 9. – Issue 3. – Jun 2019. – 1761-1768 © TJPRC Pvt. Ltd.

6 **Barysz I., Cillik L.** Zvyšovanie spoľahlivosti a živomosti dynamicky zatazenych klzných ložísk // 8 Vedecká konferencia VSDS, Seccia 3 Dopravná technika. – Zilina, 1988. – P. 21–24.

7 **Barwell F. T.** Trilogiy in production. Product Eng. (Or. Brit). – 1972. – № 7. – P. 263–271.

8 **Cocks, M., Tallian, T. E.** Sliding Contacts in Rolling Bearing. – ASLE Trans., Vol. 14. – № 1. – 1971. – P. 32.

9 **Johnson, G.** Failure of components // Automobile Engineers, March, 1996. – P. 108–111.

10 **Martin, F. A.** Developments in engine bearings. «Tribol Retiprocat. Engines. Proc. 9-th Leeds-Lyon Symp. Tribol 7-10 sept. 1982.». – P. 9–28.

11 **Moore, D. F.** Principles and Applications of Tribology. Pergamon Inter. Library, 1975. – 272 p.

REFERENCES

1 **Biniyazov, A. M., Denisov, A. S., Nosov, A. O., Kozhinskaya, A. V.** Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya masel dlya forsirovannyh avtotraktornyh dizelej [Increasing the efficiency of oils for forced automotive tractor diesel engines]. – Uralsk : ЗКФ JSC «NCSTI», 2014. – 98 p.

2 **Denisov, A. S., Biniyazov, A. M.** Sovershenstvovanie profilaktiki smazochnoj sistemy forsirovannyh avtotraktornyh dizelej KAMAZ-EVRO [Improvement of prevention of lubrication system of forced KAMAZ-EURO automobile and tractor diesel engines] // Scientific Journal «News of Science of Kazakhstan». – Almaty, 2017. – № 1. – P. 267–272.

3 **Zaharov, V. P., Denisov, A. S., Sarsenbaeva, L. H., Biniyazov, A. M. Braliev, A. B.** Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii forsirovannyh avtomobil'nyh dizel'nyh dvigatelej sovershenstvovaniem upravleniya ob'yomom masla v smazochnoj sisteme [Improving the efficiency of operation of forced automotive diesel engines by improving the management of oil volume in the lubrication system] // Scientific Journal «News of Science of Kazakhstan». – Almaty, 2018. – № 2. – P. 106–120.

4 **Nosov, A. O., Kozhinskaya, A. V., Biniyazov, A. M., Platonov, V. V.** Analiz parametrov smazochnoj sistemy dvigatelya KAMAZ – 740 [Analysis of parameters of the lubrication system of KAMAZ – 740 engine] // Science – 21 century. – 2015. – № 1. – P. 3–9.

5 **Biniyazov, A. M.** Operation maintaining of automobile forced diesel engines with ensuring of functional condition of the lubrication system in exploitation / A. M. Biniyazov, A. N. Bayakhov, A. Yu. Bektilevov, R. S. Sadykov, V. P. Zakharov, L. KH. Sarsenbaeva // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN(P): 2249–6890; ISSN(E): 2249–8001. – Vol. 9, Issue 3, Jun 2019. – 1761–1768 © TJPRC Pvt. Ltd.

6 **Barysz I., Cillik L.** Zvysovane spolahlivosti a zivomosti dinamicky zatazenych klznych lozisk // 8 Vedecka konferencia VSDS, Seccia 3 Dopravna technika. – Zilina, 1988. – P. 21–24.

7 **Barwell F. T.** Trilology in production. Product Eng. (Or. Brit). – 1972. № 7. – P. 263–271.

8 **Cocks M., Tallian T. E.** Sliding Contacts in Rolling Bearing. – ASLE Trans., Vol. 14. – № 1. – 1971. – P. 32.

9 **Johnson G.** Failure of components // Automobile Engineers, March, 1996. – P. 108–111.

10 **Martin F. A.** Developments in engine bearings. «Tribol Retiprocat.Engines. Proc.9–th Leeds–Lyon Symp. Tribol 7–10 sept. 1982». – P. 9–28.

11 **Moore D. F.** Principles and Applications of Tribology. Pergamon Inter. Library, 1975. – 272 p.

Материал поступил в редакцию 01.06.23

***А. М. Биниязов¹, А. С. Денисов²**

¹Батыс Қазақстан инновациялық–технологиялық университеті,
Қазақстан Республикасы, Орал қ.;

²Ю. А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті,
Ресей Федерациясы, Саратов қ.

Материал баспаға түсті 01.06.23.

ДИЗЕЛЬДІ ПАЙДАЛАҢУ ПРОЦЕСІНДЕ МАЙЛАУ ЖҮЙЕСІ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ САНДЫҚ ЖӘНЕ САПАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН ТАЛДАУ

Пайдалану процесінде дизельдердің майлау жүйесі параметрлерінің сандық және сапалық позициялардан өзгеру үрдістеріне талдау жүргізілді. Саңылаудың жұмыс уақытына экспоненциалды тәуелділігін ескере отырып, май қысымының жұмыс уақытына тәуелділігі алынады.

Эксперименттік деректерді математикалық өңдеу нәтижесінде майлау жүйесіндегі қысымның КамАЗ–740 және ЯМЗ–236 автомобильдеріне арналған қозғалтқыштардың жұмысына тәуелділігі анықталды.

Жүргізілген есептеу-аналитикалық және эксперименттік зерттеулер жұмыс уақытына байланысты май қабатының қалыңдығы экспоненциалды тәуелділікте төмендейтінін көрсетті. Эксперименттік деректерді математикалық өңдеу КамАЗ-740 қозғалтқыштары үшін осы тәуелділіктің параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді. Конъюгацияланған беттердің микро проекцияларының өзара әрекеттесу жағдайларына негізделген үйкелістің үш кезеңі келтірілген. Бірінші кезеңде май қабатының қалыңдығы кем дегенде 20 мкм-ге дейін байланыс ықтималдығы өте төмен сұйық үйкелістің қолайлы режимі байқалады. Екінші кезеңде, TMS мәні 20–дан 15 мкм-ге дейін, микро–кедергілердің жанасу ықтималдығы артады және жартылай сұйық үйкеліс байқалады. Үшінші кезеңде $h < 15$ мкм кезінде микро шығыңқы жерлердің түйісу ықтималдығы едәуір артады, бұл лайнерлердің бұралуына әкелуі мүмкін.

Майдың тұтқырлығының төмендеуі түйісулерде гидродинамикалық үйкелістің бұзылу ықтималдығын арттырады. Майлау жүйесінің маңызды бақыланатын параметрлерінің бірі - картердегі май деңгейі. Алайда, тұрақты деңгейде болса да, сапа көрсеткіштері айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Бұл дизельді қозғалтқыштардың борттық диагностикалық жүйелерін жасау кезінде ескерілуі керек.

Кілтті сөздер: дизель, майлау жүйесі, тозу, май шығыны, сандық өзгерістер, сапалық өзгерістер.

***A. M. Biniyazov¹, A. S. Denisov²**

¹West Kazakhstan Innovation and Technological University,
Republic of Kazakhstan, Uralsk;

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russian Federation, Saratov.

Material received on 01.06.23.

ANALYSIS OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE CHANGES IN THE PARAMETERS OF THE LUBRICATION SYSTEM DURING THE OPERATION OF THE DIESEL ENGINE

The analysis of trends in changes in the parameters of the diesel engine lubrication system during operation from quantitative and qualitative positions is carried out. Taking into account the exponential dependence of the gap on the operating time, the dependence of the oil pressure on the operating time is obtained.

As a result of mathematical processing of experimental data, the dependence of the pressure in the lubrication system on the operating time of engines for KamAZ-740 and YaMZ-236 cars was determined. The calculated-analytical and experimental studies have shown that the thickness of the oil layer decreases exponentially depending on the operating time. Mathematical processing of the experimental data allowed us to determine the parameters of this dependence for the KamAZ-740 engines. Three stages of friction are given, based on the conditions of interaction of the micro projections of the conjugate surfaces. At the first stage, up to the thickness of the oil layer of at least 20 microns, a favorable regime of liquid friction is observed with a very low probability of contact. At the second stage, when the TMS value is from 20 to 15 microns, the probability of contact of the micro-steps increases and semi-liquid friction is observed. At the third stage, at $h < 15$ microns, the probability of contact of micro-protrusions increases significantly, which can lead to the rotation of the inserts.

Reducing the oil viscosity increases the likelihood of hydrodynamic friction in the interfaces. One of the important controlled parameters of the lubrication system is the oil level in the crankcase. However, even at the same level, the quality indicators can vary significantly. This should be taken into account when developing systems for on-board diagnostics of diesel engines.

Keywords: diesel, lubrication system, wear, oil consumption, quantitative changes, qualitative changes.

Теруге 01.06.23 ж. жіберілді. Басуға 26.06.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4087

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz