УДК 621.2.082.18

© Н. Т. Сандан, аспирант

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор

© С. В. Репин, д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: sandan.nelli@yandex.ru, s.a.evt@mail.ru,

repinserge@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-161-165

© N. T. Sandan, post-graduate student

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor

© S. V. Repin, Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: sandan.nelli@yandex.ru, s.a.evt@mail.ru,

repinserge@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

EFFECT OF WEAR ON THE CHANGE OF OPERATING PROPERTIES OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES IN THE OPERATION PROCESS

Рассматриваются процесс изнашивания от внешнего и внутреннего трения, различные фазы трения. Приведены неравенства в жидкостном и полужидкостном трении.

Ключевые слова: эксплуатация, трение, износ, детали, слой, транспортно-технологические машины.

The article deals with the process of wear caused by external and internal friction, various phases of friction. The inequality caused by in liquid and semi-liquid friction is also given.

Keywords: operation, friction, wear, parts, layer, transport and technological machines.

Износ деталей не только приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик машины, но и уменьшает их эксплуатационную надежность, поэтому так важно своевременно проводить техническое обслуживание. Машина начинает работать с перебоями — это снижает коэффициент ее использования как в течение смены, так и в течение более длительных периодов (месяц, год). Важно вовремя выявлять и устранять результаты износа, не допуская их развития [1].

В наиболее благоприятных условиях в этом отношении находятся рабочие органы (дробящие плиты, отвалы автогрейдеров и бульдозеров, ковши экскаваторов), результаты изнашивания которых можно немедленно обнаружить визуально. Износ некоторых деталей можно определить путем несложных замеров зазоров, усилий на рычагах и приводах, что легко осуществить. Определить износ деталей, которые не видно при рабочем состоянии машины, существенно тяжелее. Это можно сделать при помощи методов диагностики появляющихся износов по косвенным признакам, например: по повышению темпера-

туры деталей (главным образом подшипников); составу отработавших газов; появлению неестественных шумов и стуков, которые либо слышны непосредственно, либо прослушиваются при помощи специальных устройств и т. п. Наличие износа может быть также установлено по характеру загрязнения смазки.

Чтобы правильно разработать систему этих мероприятий, необходимо знать закономерности изнашивания деталей машин в зависимости от различных факторов. Эти вопросы рассматриваются в теории износа, являющейся первым теоретическим положением, на котором основывается система технического обслуживания машин [1, 2].

В процессе работы машины происходит изнашивание ее сопряженных деталей из-за действия сил внешнего трения, а также других факторов, причина которых — взаимодействие деталей с внешней средой (например, окисление поверхностных слоев металла кислородом воздуха, взаимодействие рабочих органов и обрабатываемой среды и т. п.).

По характеру относительного движения сопряженных деталей внешнее трение бывает трех видов: скольжения, качения и верчения. Максимальный износ происходит при трении скольжения, поэтому в современных машинах его заменяют трением качения (например, в подшипниках). Однако такие детали, как рабочие органы машины, в основном работают при трении скольжения.

Уменьшение трения и связанных с ним указанных выше отрицательных явлений достигается разделением трущихся поверхностей слоем смазки, вследствие чего трение между ними заменяется внутренним трением смазывающего слоя. В зависимости от полноты разделения трущихся поверхностей смазкой различают следующие фазы трения: сухое, граничное, полусухое, полужидкостное и жидкостное. Взаимное положение трущихся поверхностей при различных фазах трения показано на рис. 1.

При сухом трении (рис. 1, а) трущиеся поверхности не отделены друг от друга слоем смазки и при движении происходит непосредственное трение одной поверхности о другую. При полужидкостной фазе между сопряженными поверхностями находится слой масляной пленки, меньший высоты выступов шероховатостей этих поверхностей (рис. 1, б).

Если обозначить через δ' и δ'' высоты неровностей сопряженных поверхностей, то при полужидкостном трении будет иметь место неравенство [2–4]

$$h = \delta' + \delta'', \quad (1)$$

где h — толщина слоя смазки.

Значения δ' и δ'' относятся к приработанным поверхностям.

Вследствие неполного разделения сопряженных поверхностей смазкой части их площадей непосредственно соприкасаются и поэтому изнашиваются.

При жидкостном трении (рис. 1, в) трущиеся поверхности полностью разделены слоем смазки и при их взаимном движении происходит внутреннее трение в слое смазки, а изнашивание деталей отсутствует.

При жидкостном трении имеет место неравенство

$$h \geq \delta' + \delta''. \quad (2)$$

Из изложенного следует, что при проектировании и эксплуатации машин необходимо стремиться к тому, чтобы детали работали в условиях жидкостного трения.

Как известно из гидродинамической теории смазки, жидкостное трение имеет место при соблюдении следующего соотношения между толщиной слоя смазки и рядом показателей, характеризующих вязкость смазки и некоторые конструктивные и эксплуатационные показатели сопряженных деталей [3, 4]:

$$h = \frac{\eta n d^2}{18,36 p s c}, \quad (3)$$

где h — толщина слоя смазки в самом узком месте клиновидной щели, мм; n — число оборотов вала в минуту; η — абсолютная вязкость, кгс · с/м²; d — диаметр шейки вала, мм; p — удельная нагрузка на вал, кгс/м²; s — зазор (разность диаметров подшипника и вала), мм; c — коэффициент длины подшипника ($c = (d + l)/l$, l — длина подшипника, мм).

Если эта закономерность сохраняется, то детали функционируют при жидкостном трении и изнашивания практически нет. Однако в процессе работы машины зависимость, приведенная в формуле (3), нарушается и тогда жидкостное трение заменяется граничным, а иногда и сухим, в результате чего происходит износ деталей.

Причинами такого нарушения могут быть: изменение числа оборотов вала, например, его уменьшение или увеличение при изменении нагрузки на рабочий орган машины; изменение

Рис. 1. Различные фазы трения: а — сухое; б — полужидкостное; в — жидкостное

удельной нагрузки на вал; изменение вязкости смазки и величины зазора вследствие износа сопряженных деталей [4, 5].

Постоянное нарушение зависимости, приведенной в формуле (3), характерно для циклично работающих машин (экскаваторы, краны, камнедробилки и др.), в которых условия работы в течение цикла резко меняются. Так, при работе экскаватора во время операции копания возрастают удельные нагрузки и уменьшаются скорости, а при повороте на выгрузку резко падают нагрузки и увеличиваются скорости. При пуске машин после длительной остановки резко нарушаются условия жидкостного трения. При неподвижном вале в месте его касания с подшипником в начале вращения смазки почти не будет, что, в лучшем случае, будет соответствовать условиям граничного трения. По мере увеличения числа оборотов в пространство 3 (рис. 2), имеющее клиновидную форму, будет втягиваться масло, прилипающее к движущейся поверхности; между поверхностями вала и подшипника образуется масляный слой, разделяющий трущиеся поверхности и имеющий несущую способность, достаточную для того, чтобы воспринимать внешнюю нагрузку [5].

Таким образом, при достижении валом нормального числа оборотов создаются условия жидкостного трения.

Рис. 2. Схема образования несущей способности масляного слоя при вращении вала: 1 — шейка вала; 2 — втулка подшипника; 3 — клиновидное пространство; O — центр сечения втулки; O' — центр сечения шейки вала

Изложенное справедливо при правильном круглом сечении вала и втулки подшипника. При неправильной их форме возможно нарушение несущей способности масляного слоя, поэтому за формой рабочих поверхностей сопряженных деталей необходимо следить при их изготовлении, а затем и при эксплуатации [6, 7].

Величины давлений, возникающих внутри масляного слоя, различны и зависят от сопротивления вытекания масла, связанного с длиной пути его движения. Так, на краях подшипника, где путь масла до вытекания равен нулю, давление тоже равно нулю, а в поперечном сечении, проходящем через середину подшипника, оно имеет максимальное значение, что видно на рис. 3, где показано сечение подшипника продольной плоскостью, проходящей через ось вращения.

Давления внутри слоя смазки могут достигать больших величин, превышая в 2,5–3 раза среднее удельное давление p . Причем чем больше p в подшипнике, тем интенсивнее нарастают величины максимальных давлений. Присутствие смазки оказывает большее влияние на характер и скорость изнашивания, чем многие другие факторы [8].

Влияние на износ климатических условий и сезонности работ. Отклонения от оптимального теплового режима и подачи загрязненной смазки, влияющие на скорость изнашивания двига-

Рис. 3. Распределение давлений внутри масляного слоя подшипника в продольном сечении: x — x — эпюра давлений внутри масляного слоя

телей и трансмиссий, будут особенно резко сказываться в случаях работы двигателя в условиях жаркого климата. Высокая температура воздуха будет влиять на тепловой режим двигателя, а запыленность его — содействовать усиленному загрязнению смазки. В связи с этим необходима тщательная проверка состояния смазки и сокращение периодичности ее замены в 1,5–2 раза [8, 9].

Продолжительность взаимодействия сопряженных деталей зависит от времени работы машин. Хотя более продолжительное взаимодействие деталей вызывает больший их износ, необходимо стремиться к непрерывной работе машины, так как наибольший износ происходит в период ее запуска. Это прежде всего относится к деталям и узлам двигателя. Так, износ цилиндров от запусков и прогревов за нормальный период эксплуатации составляет 50 % и более от общего их износа. Это объясняется ухудшением смазки цилиндров вследствие разжижения и смывания масла с их стенок топливом, которое, соприкасаясь с холодными стенками, быстро конденсируется.

При запуске двигателя в условиях низких температур интенсивность износа деталей шатунной группы резко возрастает. Это объясняется наличием следующих неблагоприятных условий: недостаточной для воспламенения температурой рабочей смеси; возрастанием вязкости смазки на стенках цилиндра, подшипниках и др.; возрастанием вязкости топлива; повышением сопротивления прокручиванию вала и др.

Для облегчения процесса запуска и устранения чрезмерного износа, а также поломки машина должна быть заблаговременно подготовлена к зимней эксплуатации [10, 11].

Для обеспечения надежной работы машин при их эксплуатации нужно выяснить, какие из рассмотренных видов износа наиболее нежелательны и вызывают снижение работоспособности машин, и продумать эффективные методы их предотвращения.

Ряд исследований показал, что в связи с проблемой надежности все виды износов могут быть разбиты на две группы: *допустимые* виды износа с относительно малыми скоростями развития и *недопустимые*, которые характеризуются аварийными процессами разрушения. В таблице

Переходы от допустимых видов износа к недопустимым при нарушении режимов эксплуатации машин

Нормальный (допустимый) износ	Нарушения нормального режима	Интенсивный износ
–	Перегрев	Схватывание 1-го рода
–	Попадание абразива в смазку	Схватывание 2-го рода
–	Перегрузка	Абразивное разрушение
Окислительный износ	Отсутствие окислителя	Усталостное разрушение

показаны переходы от допустимых видов износа к недопустимым при нарушении режимов эксплуатации машин [12].

К первой группе относится окислительный износ, а ко второй — износы схватыванием 1-го и 2-го рода, абразивный износ и осповидный, характеризующиеся различными усталостными разрушениями поверхностей (питтинг). Допустимым и широко распространенным при работе машин является окислительный износ, возникающий при трении скольжения и трении качения при сухом контакте и граничной смазке [13].

Вывод

Основной задачей при эксплуатации является сохранение нормальных условий трения, необходимых для нормальной работы деталей без ее перехода в аварийную, удержание износа на допустимом уровне окислительного износа и предотвращение других видов износа, вызывающих разрушение поверхности деталей.

Библиографический список

1. Головин С. Ф., Коншин В. М., Рубайлов А. В. и др. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов / под ред. Е. С. Локшина. М.: Мастерство, 2002. 464 с.
2. Сандан Н. Т., Евтюков С. А., Шавыраа Ч. Д. Влияние сезонных изменений на надежность наземных транспортно-технологических машин // Успехи современной науки. 2017. Т. 4. № 4. С. 116–120.
3. Евтюков С. А., Сандан Н. Т. Особенности эксплуатации парков машин в условиях низких температур // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 186–191.

4. Вашуркин И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой. СПб.: Наука, 2002. 144 с.

5. Магера Л. Ф. Эффективное использование строительных машин. Норильск: Норильский индустриальный институт, 1995. 41 с.

6. Пермяков В. Б., Иванов В. И., Мельник С. В. и др. Транспортно-технологические машины и комплексы (производственная и техническая эксплуатация) / под ред. В. Б. Пермякова. Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. 440 с.

7. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины. СПб.: ООО «Изд-во ДНК», 2012. 597 с.

8. Головин С. Ф., Коншин В. М., Рубайлов А. В. и др. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов / под ред. Е. С. Локшина. М.: Мастерство, 2002. 464 с.

9. Евтюков С. А., Евтюков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2016. 504 с.

10. Зорин В. А. Основы надежности машин. Балашиха: Военно-техн. ун-т, 2004. 134 с.

11. Кузьмин Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности. Н. Новгород: НГТУ, 2002. 72 с.

12. Ким Б. Г. Обеспечение работоспособности и исправности парков строительной техники. Владимир: ВладГУ, 2000. 147 с.

13. Максименко А. Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 400 с.

References

1. Golovin S. F., et al. *Ehkspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie dorozhnykh mashin, avtomobiley i traktorov* [Operation and maintenance of road vehicles, cars and tractors]. Ed. by Lokshin E. S. Moscow, Masterstvo Publ., 2002, 464 p.

2. Sandan N. T., Evtyukov S. A., Shavyraa Ch. D. *Vliyanie sezonnykh izmeneniy na nadezhnost' nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [The influence of seasonal changes on the reliability of ground-based transport-technological machines]. *Uspekhi sovremennoy nauki – Advances in modern science*, 2017, no. 4, vol. 4, pp. 116–120.

3. Evtyukov S. A., Sandan N. T. *Osobennosti ehkspluatatsii parkov mashin v usloviyakh nizkikh*

temperatur [Features of the exploitation of park machines in low temperature]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 2 (55), pp. 186–191.

4. Vashurkin I. O. *Teplovaya podgotovka i pusk DVS mobil'nykh transportnykh i stroitel'nykh mashin zimoy* [Thermal preparation and start-up of ICE of mobile transport and construction machinery in winter]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2002, 144 p.

5. Magerya L. F. *Ehffektivnoe ispol'zovanie stroitel'nykh mashin* [Effective use of construction machines]. Norilsk, Norilsk Industrial Institute Publ., 1995, 41 p.

6. Permyakov V. B., et al. *Transportno-tekhnologicheskie mashiny i komplekсы (proizvodstvennaya i tekhnicheskaya ehkspluatatsiya)* [Transport-technological machines and complexes (production and technical operation)]. Ed. by Permyakov V. B. Omsk, SibADI Publ., 2007, 440 p.

7. Volkov S. A., Evtyukov S. A. *Stroitel'nye mashiny* [Construction machines]. St. Petersburg, DNK Publ., 2012, 597 p.

8. Golovin S. F., et al. *Ehkspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie dorozhnykh mashin, avtomobiley i traktorov* [Operation and maintenance of road vehicles, cars and tractors]. Ed. by Lokshin E. S. Moscow, Masterstvo Publ., 2002, 464 p.

9. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny* [Land transport-technological machines]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.

10. Zorin V. A. *Osnovy nadezhnosti mashin* [Fundamentals of machine reliability]. Balashikha, Military-Technical University Publ., 2004, 134 p.

11. Kuz'min N. A. *Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya avtomobiley: zakonomernosti izmeneniya rabotosposobnosti* [Technical operation of cars: regularities of change of working capacity]. N. Novgorod, NSTU Publ., 2002, 72 p.

12. Kim B. G. *Obespechenie rabotosposobnosti i ispravnosti parkov stroitel'noy tekhniki* [Maintenance of working capacity and serviceability of parks of construction machines]. Vladimir, VladSU Publ., 2000, 147 p.

13. Maksimenko A. N. *Ehkspluatatsiya stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* [Operation of construction and road machines]. St. Petersburg, BKhV Publ., 2006, 400 p.