

А. В. ЗАХАРЧЕНКО, Киев, Национальный авиационный университет

**СОВРЕМЕННЫЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О
ТЕХНИЧЕСКИХ МАСЛАХ, КАК ОСНОВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ
СМАЗЫВАЕМОГО СОПРЯЖЕНИЯ (ОБЗОР)**

The functional application of gear oils as a structural element is suggested on the basis of analytical review of contemporary tribology sources. The operational requirements to technical oils for toothed wheel gearing of transmission units have been systematized.

Общая постановка проблемы. Зубчатые передачи (ЗП) относятся к группе самых широко распространённых в машиностроении узлов трения (УТ) [1, с. 3], определяющих долговечность механических приводов [2, с. 288]. В более поздней работе [3] сформулированы основные требования и рекомендации по выбору методов изготовления и контроля зубчатых колёс (ЗК) в системах ГОСТ и DIN. В публикации [4] затронуты вопросы формирования расчётных моделей и систематизации факторов, влияющих на выбор конструкции ЗП в процессе компьютерного проектирования, и рассмотрены параметры, существенно улучшающие её трибологические характеристики. Авторы [5] анализировали влияние смазочной среды на стабильный режим работы ЗП, уровень температуры, условия формирования смазочной плёнки. Отмечено [6], что по ГОСТ 21354-87 в расчёт ЗП на контактную прочность введён коэффициент Z_L , учитывающий влияние смазочного материала (СМ). Однако рекомендуется [6] принимать $Z_L = 1$, так как влияние СМ на характеристики контактирующих поверхностей пока не изучено.

Анализ последних исследований и публикаций. Стремление конструкторов к максимальному сокращению размеров ЗП привело к появлению гипоидных передач (ГП), особенно в автомобилестроении [7, с.

178], где они получили наибольшее распространение на современных заднеприводных автомобилях. ГП работает менее шумно, а зубья имеют большую, по сравнению с конической, толщину ножки. Это увеличивает их износостойкость и нагрузочную способность. Однако, нагрузки в ГП по сравнению с конической выше: давление в местах контакта зубьев для конических и червячных передач составляют 1500-2000 МПа, для гипоидных - 3000-4000 МПа при скоростях скольжения до 15 м/с [8, с. 31]. До начала 30-х годов прошлого столетия в узлах и агрегатах автомобилей использовались СМ без присадок. При этом, например, пробег моторных масел составлял около 800 км, а примерно через каждые 1600 км двигатель подлежал разборке для очистки деталей от нагара, шламов и других загрязнений [8, с. 63]. Разработка СМ с химически активными веществами позволила применять детали машин (ДМ) в условиях, которые привели бы к катастрофическим отказам при использовании чистых минеральных масел. Применение ГП в ведущих мостах автомобилей, реализованное в 1927г. фирмой “Паккард”, стало возможным только благодаря применению СМ с химическими присадками [9, с. 20].

В опубликованном обзоре Ку [10] указал многие факторы, влияющие на отказы ЗК, и подчеркнул роль их механики и смазки. Именно смазка, по мнению М. В. Райко [11, с. 3], способна в значительной мере предотвратить изнашивание зубьев, являющееся основной причиной выхода ЗК из строя. Большое влияние на изнашивание оказывает качество применяемого СМ, его вязкость, количество и вид присадок к базовому маслу, метод смазывания, физико-механические характеристики материалов ЗК, геометрия контакта, т.е. тип контакта Герца (точечный или линейный), приведенные радиусы кривизны [12, 13], шероховатость рабочих поверхностей зубьев и другие факторы [14, 15]. Одним из типовых повреждений рабочих поверхностей УТ, работающих со смазкой в экстремальных условиях, являются задиры, возникающие как следствие заедания сопряжённых поверхностей в процессе трения. Однако широкие исследования, проведённые большим числом

специалистов, показали, что возникновение заедания связано с разрушением смазочной плёнки, разделяющей сопрягаемые поверхности трения, приводящим к металлическому контакту этих поверхностей, что характеризуется резким повышением трения и интенсификацией износа [16, с. 3]. Кроме того, большое значение имеет тип движения [9, с. 162], например соотношение скольжения и качения, поскольку при чистом скольжении повреждения контакта наиболее выражены, в то время как при чистом качении задир маловероятен. Вместе с тем отмечается [17], что использование специальных противозадирных присадок, обеспечивающих химическое модифицирование поверхностных и приповерхностных слоёв материалов ЗК, увеличивает предремонтный срок службы ЗП. Который в значительной степени зависит от способности СМ образовывать на поверхностях трущихся пар граничные плёнки, способные противостоять сжимающим усилиям и в то же время не оказывать большого сопротивления движению в плоскости касания [18, с. 327].

В российской публикации [19] представлена классификация видов отказов ЗП, дан обзор энергетических и металловедческих конструкций, которые используются для разработки критерия их износостойкости. Согласно номенклатуре Американской ассоциации производителей ЗП (AGMA), насчитывается 21 вид отказа зубьев. Ку [10] считает, что более логично классифицировать виды отказов ЗК, разделив их на две основные категории: отказы, связанные с прочностью и отказы, связанные со смазкой (или, точнее, с трибологией). Одним из рабочих условий, которое часто может быть важным, но редко учитывается, является подвод и распределение СМ в окрестности контакта. Показано [20], что недостаток СМ существенно влияет на упругогидродинамические характеристики системы. Более того, это влияние может оказаться решающим фактором для рабочих характеристик ДМ [21].

Конструкции и материальному оформлению, а также условиям работы УТ должен соответствовать определённый по составу и свойствам СМ [22, с.

8]. Общеизвестно [23, с. 204], что для обеспечения надёжности и долговечности функционирования смазанного УТ следует стремиться к наиболее полному соответствию свойств СМ условиям работы смазываемого сопряжения. При разработке и выборе СМ необходимо учитывать, как подчёркивает автор [24, с. 6], какой вид износа является преобладающим при данных условиях трения. Большое внимание в современной технике уделяется трибологически обоснованному использованию масел и смазок, рассматриваемое авторами в работах [25, 26], где показано, что режим работы трибопар и сопряжений обуславливает выбор СМ и анализируется использование легирующих компонентов в смазочных композициях для пар подверженных задиру и усиленному изнашиванию. В работе немецких исследователей [27] анализируются причины выхода из строя оборудования и ДМ, одной из которых является неправильный подбор СМ для пар трения. При анализе повреждений установлен адгезионный износ, вызванный тем, что используемый СМ не образует защитной плёнки, что приводит к интенсивному контакту металла по металлу.

Общепризнано [28, 29], что СМ является конструкционным элементом УТ и наряду с другими факторами, определяющими его долговечность и надёжность, к нему предъявляются достаточно жёсткие требования [30]: надёжная работа при очень низких и очень высоких трениях, гарантия эксплуатационной безопасности и др. Авторами [31] рассмотрены условия работы различных групп масел и показана эффективность применения СМ, легированных присадками. В работе японских исследователей [32] приведена история создания и развития моторных масел с присадками для бензиновых ДВС и дизелей в Японии и США. В публикации [33] обращено внимание на основные факторы создания нового поколения нефтяных масел. Обобщая результаты исследований авторы [34] приходят к выводу, что как конструкционный элемент УТ масла выполняют функции уменьшения трения, снижения износа и предотвращения задира трущихся поверхностей, отвода тепла, защиты поверхностей трущихся деталей от коррозионного

воздействия внешней среды, уплотнения зазора между сопряжёнными деталями, удаления из зоны трения продуктов износа, коррозии и прочих загрязнений. В работе [35] разработана система показателей качества СМ общемашиностроительного применения.

Смазочный слой обычно считается третьим конструкционным телом, который препятствует непосредственному контакту трущихся поверхностей [36, с. 64]. Поэтому многие исследователи склонны относить антифрикционность к свойству УТ в тройном сочетании: материал-смазка-материал. Предлагаются термины: „триединое целое” [37], „триада трения” [38]. Кроме того, СМ в сильной степени влияет на возникновение усталостного выкрашивания тяжело нагруженного контакта. Это в первую очередь относится к контакту качения в подшипниках качения и к ЗП, профили зубьев которых работают в условиях качения со скольжением. Отмечено [7, с. 3], что, несмотря на широкие исследования, проводимые в этой области, поведение СМ в различных условиях изучено недостаточно.

Рациональный выбор СМ обычно сопряжён с обеспечением во время эксплуатации своевременной периодической его замены [8, с. 32], цель которой – компенсировать старение, утечки, испарение [38, 39]. Одним из способов экономии топливно-энергетических ресурсов является применение качественных СМ и их хорошая фильтрация, обеспечивающие большую периодичность замены, унификацию, а также регенерацию и вторичное использование. Следует отметить, что гонка больших периодичностей смены, например, моторного масла в основном прекратилась и характерной периодичностью является 10-20 тыс. км (второе обслуживание - В) [40, с. 270]. В состоявшейся дискуссии [41] отмечено, что запаса СМ в УТ достаточно для всего срока его службы и в отдельных случаях это уже достигнуто. Как известно, характеристики СМ в процессе эксплуатации автомобиля изменяются. Для обеспечения надёжной и долговечной работы трансмиссии необходим правильный и обоснованный выбор трансмиссионного масла (ТМ) с учётом типа трансмиссии и условий её

эксплуатации. В зависимости от эксплуатационных свойств и возможных областей применения масла для трансмиссий автомобилей, тракторов и другой мобильной техники отнесены к 5 группам [22, с. 155]. Например, в работе китайских трибологов [42], приведены рекомендации по выбору ТМ для проектируемой ЗП с учётом характеристики последней.

Выводы по проведенному исследованию. Значительный резерв повышения задиростойкости для ДМ, работающих без внезапного катастрофического износа и заедания в некотором диапазоне скольжений в условиях совместного нагружения циклической нагрузкой и трением, составляют мероприятия, осуществляемые в условиях эксплуатации: оптимизация условий газовой среды, смазки, скорости скольжения и контактного давления в зоне трения.

Список литературы: 1. Заблонский К.И. Зубчатые передачи. Распределение нагрузки в зацеплении. – К.: Техніка, 1977. – 208 с. 2. Богданович П.Н., Прушак В. Я. Трение и износ в машинах: Учеб. для вузов. - Мн.: Выш. шк., 1999. - 374 с. 3. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колёс и передач. Учеб. пособ. для вузов, техникумов, технических училищ / Под общ. ред. В. Е. Старжинского и М. М. Кане. - Мн: УП “Технопринт”, 2002. - 718 с. 4. Повышение трибологических характеристик зубчатых передач при использовании программного обеспечения в процессе проектирования. Novaković D., Lužanin O., Zeljković Ž., Hodolić J. Enhancement of tribological characteristics of gears by application of software package for gear trains design // Tribol. Ind. - 1998. – Vol. 20, № 2. - P. 47-51. 5. Влияние смазочных материалов на работоспособность зубчатых передач. Einfluß von Schmierstoffen und Betriebsbedingungen auf den Verschleiß von Zahnradern // Erdöl-Erdgas-Kohle. - 1997. – B. 113, № 3. - S. 130-131. 6. Андриенко Л. А. Учёт влияния смазочного материала при расчёте нагрузочной способности зубчатых передач и их подшипниковых узлов // Справ. инж. ж. (МГТУ им. Н. Э. Баумана). – 2001. - № 10, прил. № 10. - С. 23-26. 7. Решиков В.Ф. Трение и износ тяжелонагруженных передач. – М.: Машиностроение, 1975. – 232 с. 8. Караулов А.К., Худолий Н. Н. Автомобильные масла. Моторные и трансмиссионные. Ассортимент и применение: Справочник. – К.: Журнал „Радуга”, 2000. – 436 с. 9. Чихос Х. Системный анализ в трибонике: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. - 352 с. 10. Ku P.M. Gear failure modes - importance of lubrication and mechanics // ASLE Trans. – 1976. – Vol. 19. - 239 p. 11. Райко М. В. Смазка зубчатых передач. - К.: Техніка, 1970. - 196с. 12. Begelinger A., de Gee A. W. J. Lubrication of sliding point contacts of AISI 52100 steel - the influence of curvature // Wear. – 1976. Vol. 36, № 7. 13. Czichos H. Film failure of sliding

Hertzian contacts: The influence of contact geometry // Proc. JSLE-ASLE Internat. Lubr. Conf. Tokyo. - 1975, Sakurai T. (Ed.), Elsevier, Amsterdam. – 1976. - P. 368.

14. Дроздов Ю.Н. Определение интенсивности изнашивания деталей машин // Вестник машиностроения. – 1980. - № 6. - С. 12-15.

15. Кудрявцев В.Н. Детали машин. - М.: Машиностроение, Ленинградское отд-е, 1980. - 464 с.

16. Матвеевский Р.М., Буяновский И. А., Лазовская О. В. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. – М.: Наука, 1978. – 192 с.

17. Схиртладзе А.Г. Предремонтное изнашивание зубчатых передач // Технол. мет. (МГТУ “Станкин”). – 2002. - № 6. - С. 20-24.

18. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник / Под ред. Э. Б. Вулгакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 374 с.

19. Сорокин Г.М., Сафонов Б. П., Данилов О. А. Исследование износостойкости зубчатых зацеплений металлофизическими методами / Новомоск. ин-т Рос. хим.-технол. ун-та. – Новомоск., 2001. - 13 с. - Рус. - Деп. в ВИНТИ 22.01.01, № 170-B2001.

20. Wedeven L. D. Traction and film thickness measurements under starved elastohydrodynamic conditions // Trans. ASME, JOLT. – 1975. – Vol. 97. – P. 321. [Имеется перевод: Удивен Л. Д. Измерения трения и толщины плёнки в упругогидродинамическом контакте при масляном голодании // Труды амер. об-ва инж.-мех., сер. F, Проблемы трения и смазки. – 1975. - № 2. - С. 196.]

21. Münnich H. Einfluss der Schmierung auf Lebensdauer, Reibung und Verschleiss von Wälzlagern // Schmiertechnik und Tribologie. – 1968. – В. 16. – S. 87.

22. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ. изд. / К. М. Бадыштова, Я. А. Берштадт, Ш. К. Богданов и др.; Под ред. В. М. Школьниковой. – М.: Химия, 1989. – 432 с.

23. Фукс И.Г., Буяновский И. А. Введение в трибологию: Учеб. пос. – М.: Нефть и газ, 1995. – 278 с.

24. Виноградов Ю. М. Трение и износ модифицированных металлов. – М.: Наука, 1972. – 152 с.

25. Целенаправленное использование смазочных материалов. Tribologie hilft Schäden verhüten // Technica (Suisse). - 2000. – В. 49, № 7. - S. 23-24.

26. Триботехника в машиностроении. Westerbecke W. Reibung, Schmierung und Verschleiß: Bericht über die internationale Tribologie-Fachtagung 1996 der Gesellschaft für Tribologie // Erdöl-Erdgas-Kohle. - 1997. - В. 113, № 3. - S. 132.

27. Применение смазочных материалов и повышение надёжности оборудования. Schmierstoff als Kostenkiller // Produktion. - 1997. – В. 36, № 25-26. - S. 26.

28. Заславский Ю.С., Заславский Р.Н. Механизм действия противоизносных присадок к маслам. - М.: Химия, 1978. - 224 с.

29. Смазочный материал конструкционный элемент. Schmierstoff als Konstruktionselement // Technica (Suisse). - 2001. – В. 50, № 21. - S. 51.

30. Выбор и применение смазочных материалов. Ч. 3 / Ниути Акио // Puranto enjinia = Plant Eng. - 1998. – Vol. 30, № 6. - P. 64-68. - Яп.

31. Смазочный материал - элемент конструкции. Schmierstoff - ein Konstruktionselement // Konstruktion: Zeitschrift für Produktentwicklung. - 2000. – В. 52, № 3. - S. 14.

32. Разработка моторных масел / Hirata Masakuni // Petrotekku = Petrotech. - 1998. – Vol. 21, № 6. - P. 537-542. - Яп.

33. Бадыштова К. М., Шабалина Т. Н., Леонович Г. И., Мирзоянц С. А. Смазочное масло - конструкционный

элемент машин и механизмов // Трение и износ. - 1995. - Т. 16, № 5. - С. 918-924. 34. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. В 3 т. – М.: Машиностроение, 1990. - Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. - 416 с. 35. Леликов О.П. Система показателей качества изделий общемашиностроительного применения // Грузовик и автобус, троллейбус, трамвай. - 1999. - № 11. - С. 44-47. 36. Дроздов Ю.Н., Арчegov В. Г., Смирнов В. И. Противозадирная стойкость трущихся тел. - М.: Наука, 1981. - 140 с. 37. Чукмасов С.Ф. Пути повышения надёжности, долговечности и экономичности машин и устройств. – Днепропетровск: Днепропетр. металл. ин-т, 1963. - 86 с. 38. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на надёжность и долговечность машин. - М.: Машиностроение, 1970.- 312 с. 39. Старосельский А.А., Гаркунов Д. Н. Долговечность трущихся деталей машин. - М.: Машиностроение, 1967. - 395 с. 40. Кузнецов Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей в США. - 2-е изд., перераб. - М.: Транспорт, 1992. - 352 с. 41. Очередная конференция по трибологии. Danach war alles tribologisch // Produktion: Die Wochenzeitung für das technische Management. – 2000. – № 10. - S. 42. 42. Выбор смазочного масла при трибологическом проектировании зубчатой передачи. Xia Yan-qiu, Zhang Jian, Liu Weimin, Xue Qunji. Shenyang gongye daxue xuebao // Shenyang Polytechn. Univ. - 2000. – Vol. 22, № 5. - P. 363-366.