

Из выражения (11) видно, что, так как m и n — любые целые числа, то клеевая накладка имеет бесконечное множество частот собственных колебаний (гармоник). Следует заметить, что физический смысл имеют лишь натуральные значения m и n , а наибольшую амплитуду имеют низкочастотные гармоники ($m = 1 - 2$, $n = 1 - 2$).

Чтобы обобщить полученные результаты и отвлечься от конкретных размеров наклейки, введем безразмерные параметры: $b/h = d$ и $a/b = c$. При этом толщина клеевого слоя h , как правило, задается технологией склеивания. Выражение (11) будет иметь вид

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Eh^4}{12h^2\rho(1-\mu^2)}} \pi^2 \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right] = \\ &= \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}} \left(\frac{1}{h}\right) \left(\frac{1}{d}\right)^2 \pi^2 \left[\left(\frac{m}{c}\right)^2 + n^2 \right], \\ v &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}} \left(\frac{1}{h}\right) \left(\frac{1}{d}\right)^2 \pi^2 \left[\left(\frac{m}{c}\right)^2 + n^2 \right]. \quad (12) \end{aligned}$$

С помощью программы Mathcad построим графики зависимости (12) v от $b/h = d$ и $a/b = c$ при $d = 10...50$, $c = 1...5$ ($h = 1$ мм).

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что частота вынужденных колебаний труб системы выпуска отработанных газов близка к частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Если учесть, что коленчатый вал двигателя вращается со скоростью от 600 до 8000 об./мин, то частота воздействия возмущающей силы на клеевую насадку лежит в диапазоне от 10 до 133 Гц. Наиболее опасный режим работы адгезива возникает при попадании частот собственных колебаний клеевой наклейки в данный диапазон,

так как из-за резонансных явлений амплитуда колебаний наклейки многократно увеличивается, что в свою очередь ведет к многократному увеличению напряжений, которые выходят за предел выносливости адгезива к повторно-переменным нагрузкам, и как следствие — к разрушению клеевого соединения. Путем подбора геометрических характеристик клеевой наклейки следует избегать подобного явления.

Разработанная математическая модель, имитирующая физические процессы при ремонте элементов трубопроводов системы выпуска отработанных газов в автомобилях, позволяет в каждом конкретном случае негерметичности подобрать термостойкий адгезивный материал с оптимальными характеристиками (E , ρ , μ), а также оптимальные геометрические размеры клеевой наклейки для того, чтобы избежать резонанса и тем самым значительно продлить срок службы клеевого соединения.

Список литературы

1. Башкирцев В.И. Ремонт автомобилей полимерными материалами. — М.: За рулем, 1999. — 32 с.
2. Мохов А.И., Бойков В.Ю. Ремонт машин с применением анаэробных и формообразующих полимерных материалов // Механизация строительства. — 2006. — № 9. — С. 9–11.
3. Бойков В.Ю., Башкирцев Ю.В. Экспериментальные исследования распределения температуры в системе выпуска отработанных газов в автомобилях: сб. материалов МНТК «Ресурсосбережение XXI век». — Орел: ОрГАУ, 2006. — С. 147–153.
4. Бойков В.Ю., Сливов А.Ф., Башкирцев Ю.В. Классификация термостойких адгезивов для технического сервиса машин и оборудования в АПК // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Технический сервис в агропромышленном комплексе. — 2004. — № 1(6). — С. 26–31.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т. 7. Теория упругости: учеб. пособие. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: Наука, 1987. — 248 с.

УДК 621.828

А.Г. Пастухов, доктор техн. наук
А.В. Ефимцев

Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина

РАДИАЛЬНЫЙ ЗАЗОР В КАРДАНЫХ ШАРНИРАХ ТРАКТОРА «ДЖОН ДИР» В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кодной из основных тенденций развития сельскохозяйственной техники относят повышение ее технического уровня и качества, что в первую очередь связано с внедрением инновационных технологий в эксплуатации.

В настоящее время объем, перечень и периодичность работ по техническому обслуживанию (ТО), определяемый нормативными документа-

ми, проводится в обязательном порядке для тракторов, находящихся на гарантийном обслуживании, в остальных случаях владельцы самостоятельно принимают решение о выборе стратегии поддержания работоспособности.

Задача повышения эффективности эксплуатации сельскохозяйственных тракторов связана с совершенствованием методики диагностирова-

ния в различных условиях эксплуатации с учетом скорости изнашивания, допускаемого зазора в сопряжениях и режима нагруженности.

Перспективным направлением в системе процессов обслуживания является оперативный контроль технического состояния машин и организация технического сервиса «по состоянию» [1]. В карданных передачах оперативный контроль «по состоянию» оценивается радиальным зазором в шарнире, который является наиболее информативным показателем.

Следовательно, актуальность работы заключается в необходимости исследования долговечности шарниров карданных передач (КП) в эксплуатации, контроле радиального зазора в шарнире «по состоянию» и назначении ремонтно-обслуживающих воздействий.

Работоспособность карданных шарниров (КШ) в эксплуатации можно поддержать с помощью профилактических мероприятий. Для достоверности решения о применении мероприятий обслуживающего характера А.М. Сигаев предлагает предремонтное безразборное диагностирование КШ в зависимости от начального радиального зазора в подшипниковом узле [2].

Аналогичные направления прослеживаются в трудах М.Г. Дегтярева и И.Е. Ульянова, в которых предложен принцип, основанный на измерении радиального зазора КШ на примере КП трактора К-700. В результате обосновано предельное значение радиального зазора в КШ 0,58...0,62 мм по минимуму суммарных затрат на ТО на основе математической модели увеличения окружного зазора с учетом условий работы и факторов наработки [3].

В исследованиях В.Я. Аниловича и В.Л. Литвиненко установлены нарушения взаимного расположения смежных узлов заднего моста трактора в продольно-вертикальной плоскости. В результате применения приборов КПД-1 и КПД-2 установлено среднее значение предельного износа шарнирных соединений КП, равное $\Delta_{пр} = 0,1873$ мм, разработана номограмма, позволяющая установить остаточный ресурс КШ и соответственно определить момент замены агрегата во время настоящего или очередного ТО для трактора Т-150К [4].

Чтобы выявить взаимосвязь между динамикой изменения радиального зазора, наработкой и предельным состоянием карданного шарнира трактора «Джон Дир» седьмой серии необходимо решить следующие задачи:

1) провести аналитический обзор существующих работ по контролю работоспособности и технического состояния, основанные на измерении радиального зазора в КШ;

2) установить взаимосвязь между изменением радиального зазора и наработкой и классифицировать тракторы по нагруженности;

3) установить предельное состояние КШ.

В среднем наработка на отказ трансмиссии трактора достигает 15 000 ч работы при условии квалифицированного технического сервиса. Одним из узлов, снижающих долговечность трансмиссии, является КП, соединяющая двигатель и гидромодуль коробки передач. Нарботка до замены шарниров КП, регламентированная производителем, составляет 5000, а наработка на отказ в среднем — 8000...9500 ч, что свидетельствует о наличии неиспользованного потенциального ресурса, определяемого как условиями эксплуатации, так и конструктивными особенностями.

С целью повышения долговечности КШ предлагается использовать оперативный контроль радиального зазора и уровня нагруженности в КШ в эксплуатации на основе данных профиля загрузки двигателя. Это позволяет повысить точность и достоверность оценки реального технического состояния КШ, что позволит обоснованно назначить ремонтно-обслуживающие воздействия.

Составлена программа эксплуатационных наблюдений [5], на основе которой исследованы рабочие параметры КШ тракторов, которые характеризуются передачей крутящего момента $T_{кр} = 458...957$ Н·м при заданной частоте вращения $n = 1600...2100$ об./мин с незначительным углом излома $\gamma = 2...3^\circ$ в шарнирах. Опрос специалистов и механизаторов в хозяйствах показал, что техника эксплуатируется в различных условиях, об этом свидетельствуют и количественные характеристики, сведенные в массив данных (таблица).

Наблюдения проводились на базе техники ЗАО «Красноярская зерновая компания», ООО «Молочные фермы», ООО «Русагро-Инвест», ООО «Агрохолдинг «Ивнянский»», ООО «Плородорие», ЗАО «Скороднянское» в сотрудничестве с сервисным центром ООО «Юпитер-9». Наблюдения проведены на тракторах JD серии 7730, 7820, 7830 и 7930, эксплуатирующихся в Прохоровском, Ивнянском, Ракитянском, Белгородском, Новооскольском, Яковлевском, Красненском и Чернянском районах Белгородской области.

Результаты замеров, представленные в таблице, позволили выявить способ учета нагруженности и наработку при достижении предельного состояния.

Методом наименьших квадратов (МНК) построена математическая модель, позволяющая прогнозировать радиальный зазор в зависимости от наработки:

$$\Delta = 5 \cdot 10^{-6} L + 0,0795, \quad (1)$$

где L — наработка КШ, ф.-ч; Δ — радиальный зазор, мм.

Анализ графической интерпретации массива данных измерения радиального зазора (см. таблицу) позволяет отметить, что момент достижения

предельного состояния КШ точка *A* и место пересечения линии предельного состояния с точкой *B* на графике не совпадают примерно на 6000 ф.-ч (рисунок). Это связано с тем, что не учтен показатель нагруженности КШ, поэтому отказ или предотказное состояние может произойти раньше, что, естественно, недопустимо в эксплуатации.

Для установления взаимосвязи между радиальным зазором, нагруженностью и наработкой представлены данные эксплуатационных наблюдений тракторов от начала эксплуатации до физического разрушения:

$$L = 5 \cdot 10^6 \Delta - 397\,500. \quad (2)$$

Изучив нагруженность совместно с видами работ по энергоёмкости их выполнения, разделим наблюдаемые тракторы с неизвестной нагруженностью на две группы:

1 — характеризуется уровнем нагруженности до 80 %, что соответствует работам, связанным в основной обработкой почвы, посевом комбинированными широкозахватными агрегатами, например, тракторы № RW7830R029275, RW7830R002630, RW7930R035138, RW7830R006825;

2 — характеризуется уровнем нагруженности до 50 %, что соответствует нетрудоемким работам, связанным с транспортными, разгрузочно-погрузочными, кормозаготовительными работами, например, тракторы № RW7830R011352, RW7830R008475, RW7830A037752.

По данным наблюдений получена формула (1), в которой коэффициент прямой является положительным числом и указывает на возрастание графика.

Наработка до замены, регламентированная заводом-изготовителем, составляет 5000 ф.-ч, а из анализа данных наработка на отказ составляет в среднем 8000...9500 ф.-ч. Это значит, что тракторы эксплуатируются в существенно различных условиях, которые необходимо классифицировать, например, по видам работ. Нарботка КШ трактора, с одной стороны, на транспортных работах может достигать 9000 ф.-ч, при этом КШ находится в работоспособном состоянии. С другой стороны, наработка КШ

на работах, связанных с основной обработкой почвы, при значении нагруженности 80...90 %, шарнир изнашивается при наработке до 6000 ф.-ч. Поэтому в эксплуатации необходимо обращать внимание не только на величину наработки, но и на значение нагруженности или вид работы трактора.

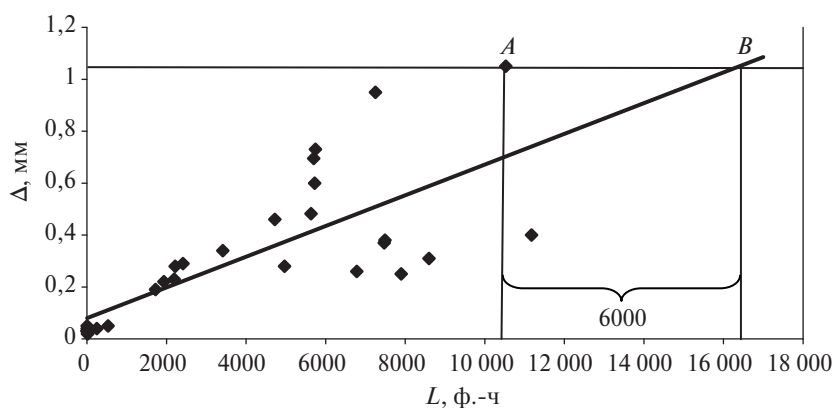
В связи с этим необходимо для более эффективного и целесообразного использования ресурса КШ назначать мероприятия ТО, ориентируясь на значения величины нагруженности и наработки.

В результате анализа представленного материала можно сделать следующие выводы.

1. В соответствии с программой эксплуатационных наблюдений составлен массив данных в количестве 29 ед. тракторов с учетом наработки диапазоне от 6 до 11 100 ф.-ч, радиального зазора от 0,03 до 1,05 мм и нагруженности КШ по профилю нагрузки двигателя в диапазоне от 17 до 80 кВт в реальных условиях эксплуатации.

Параметры работы КШ трактора JD 7830

Номер трактора	Средняя нагруженность		Наработка шарнира, ф.-ч	Суммарный радиальный зазор, мм	Государственный номер
	\bar{N}_i , кВт	N^* , кВт			
RW7830R006825	67,05	1	7473,3	0,374	—/—
RW7830R011352	46,356	2	6784,4	0,2572	9100ЕК
RW7830A037754	60,66	1	1724,2	0,1887	6489ЕЕ
RW7830A037752	48,939	2	2414,5	0,2905	6488ЕЕ
RW7830R002630	68,887	1	3416	0,3425	7918ЕЕ
RW7830R029275	77,263	1	4968	0,279	4239ЕЕ
RW7830R008475	44,309	2	7489	0,377	1702ЕЕ
RW7830R002638	61,871	1	10527	1,552	7906ЕЕ
RW7830R022819	56,738	2	5724,6	0,601	8655ЕВ
RW7930R035138	66,119	1	2192	0,2321	9973ЕК
RW7830R021961	57,505	2	5700	0,6951	5050ЕЕ
RW7830R029102	54,593	2	5633,4	0,482	5790ЕЕ
1RW7830RCBR036	—	1	532	0,05	—/—
RW7820R051370	32	2	11174	0,4031	2050ЕУ
1JZ7930AJCA001147	—	1	250	0,04	—/—
1RW7830RCBR036052	—	2	4723	0,46	7956ЕЕ
RW7830R005784	—	1	7252	0,95	—/—
RW7830R021764	—	1	7900	0,25	—/—
RW7830R021736	—	1	8600	0,31	—/—
RW7830A020197	—	2	5744,3	0,73	—/—
1RW7830RPAR029152	—	1	1934	0,22	—/—
RW7730R009266	—	1	2219	0,28	—/—
1JZ7830ALCA001206	—	2	9,2	0,03	—/—
1JZ7830ACCA001209	—	2	4	0,03	—/—
1JZ7830АНСА001207	—	2	3,6	0,04	—/—
1JZ7830АЕСА001208	—	2	6	0,03	—/—
1JZ7830AJCA001149	—	2	7	0,05	—/—
1JZ7830AJBA001067	—	2	15	0,02	—/—
1JZ7930ACCA001048	—	2	18	0,02	—/—



Результаты измерения зазоров в КШ

2. Анализ массива данных показывает, что необходим учет нагруженности для обоснованного назначения ТО. Предложено разделение по группам: 1 — 50 до 80 % и 2 — до 50 %. Получено уравнение (1), позволяющее прогнозировать ресурс КШ без учета нагруженности. Представлено уравнение (2), позволяющее спрогнозировать наработку по радиальному зазору.

3. Полученные данные позволяют создать основу для проведения и назначения обоснованных ремонтно-обслуживающих воздействий по реальному техническому состоянию карданного шарнира. В ходе эксплуатационных наблюдений установлено, что КШ при условии «контроля по состоянию»

может отработать до 9000 ф.-ч. Применяя техническое обслуживание, возможно добиться наработки до 15 000 ф.-ч, что соответствует наработке на отказ трансмиссии в целом.

Список литературы

1. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2020 г / В.И. Фисинин, Ю.Ф. Лачуга, А.А. Жученко, А.Л. Иванов [и др.]. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. — С. 13, 24.
2. Сигаев А.М. Повышение эффективности диагностирования и ремонта карданных шарниров тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Харьков, 1985. — 24 с.
3. Дегтярев М.Г., Ульман И.Е. Определение предельного технического состояния карданных передач тракторов К-700 // Техника в сельском хозяйстве. — 1975. — № 11. — С. 73–74.
4. Диагностирование карданных передач / Анилович В.Я., Литвиненко В.Л., Черненко О.И., Б Розенцвайг А., Огий Г.Е., Олизаренко И.И. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1977. — № 4. — С. 4–46.
5. Ефимцев А.В., Пастухов А.Г. Программа и методика эксплуатационных наблюдений карданных передач тракторов John Deere // Ремонт. Восстановление. Реновация: Всероссийская научно-практическая конференция. — Уфа: Башкирский ГАУ, 2012. — С. 73–76.

УДК 621.8

О.Г. Кокорева, канд. техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.И. Горячкина

МЕХАНИЗМ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ ПРИ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

Процесс упрочнения высокомарганцевистой стали имеет сложный характер. Доказательством этого является тот факт, что до сих пор не создана общепринятая теория ее упрочнения. Проанализировав существующие гипотезы [1–5, 8, 9], можно выделить два основных направления, объясняющих механизм упрочнения ВМС при обработке поверхностно-пластической деформацией (ППД):

- упрочнение за счет возникновения высокой плотности дислокаций, большого числа дефектов упаковки и механических двойников, приводящих к изменению тонкой кристаллической структуры (дроблению зерен на блоки и разориентации этих блоков в пределах зерна);

- упрочнение путем образования в плоскостях сдвига вторичных фаз (карбидов), которые являются эффективными барьерами, затрудняющими пластическое движение металла [6–7].

Высокомарганцевистая сталь имеет поликристаллическое строение и состоит из зерен, различающихся по составу и ориентации, и имеющих определенную дислокационную структуру. Упрочнение ВМС находится в прямой связи с линейной дислокационной структурой и плотностью дислокаций, определяющейся отношениями суммарной длины линий дислокаций к объему, в котором они находятся. В результате ППД плотность дислокаций увеличивается от $10^{-7} \dots 10^{-8} \text{ мм}^2$ до $10^{-10} \dots 10^{-12} \text{ мм}^2$ [10]. Однако возможности упрочнения метал-