

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 629.353:629.3.083.4

Ю.А. Власов, Н.Т. Тищенко, С.А. Земляной

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕДУКТОРОВ МОТОР-КОЛЁС АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ

Благодаря технологическим преимуществам по сравнению с железнодорожным транспортом, автомобильный транспорт в нашей стране сегодня выполняет до 70% всего объема перевозок. Технический прогресс приводит к увеличению грузоподъемности многих видов автомобильного транспорта, в частности и автосамосвалов с дизель-электрическими приводами.

На открытых горных работах в России эксплуатируются, в основном, автосамосвалы производства ПО «БелАЗ», которые имеют достаточно широкий спектр модификаций и типоразмерным рядом конкурируют с ведущими мировыми фирмами Komatsu и Caterpillar [1].

ПО «БелАЗ» постоянно проводит работы по усовершенствованию парка машин, повышая их надежность, которая закладывается при проектировании, обеспечивается в процессе производства и поддерживается в процессе эксплуатации. На базе традиционной схемы электротрансмиссии автосамосвалов БелАЗ особо большой грузоподъемности завод осуществляет усовершенствование тягово-динамических свойств, благодаря которым улучшается управляемость автосамосвалов, уменьшается износ шин и повышается ресурс тяговых электродвигателей (ТЭД). ТЭД трансмиссии работают в сочетании с редукторами мотор-колес (РМК).

В настоящее время, несмотря на улучшения в конструкции и работе основных элементов привода – ТЭД, РМК не претерпели существенных изменений, и их техническое обслуживание не предусматривает комплекса диагностических работ без частичной разборки РМК [2, 3]. Одним из видов работ, связанных с определением люфтов, является регулировка подшипников ступицы РМК. Данный вид работ выполняется при ТО-2 и связан со снятием колес, вывешиванием автомобиля, разборкой первого ряда редуктора, т.е. выполняются работы достаточно трудоемкие и продолжительные по времени, что сказывается на простое автосамосвала при техническом обслуживании.

Снижению удельных трудовых и временных затрат при выполнении технического обслуживания будет способствовать диагностирование зубчатых цилиндрических передач РМК автосамосвалов БелАЗ методом люфтотметрии. Для сокра-

щения времениостояния при обслуживании и внедрения люфтотметрии РМК при эксплуатации необходимы обоснованные методы измерений, с достоверными диагностическими параметрами суммарных угловых люфтов и шлицевых соединений РМК.

В процессе эксплуатации бортовые редукторы мотор-колес автосамосвалов БелАЗ особо большой грузоподъемности подвержены необратимым процессам изнашивания зубьев шестерен и шлицев, что ведет к изменению их геометрических размеров. Так как условия эксплуатации и техническое обслуживание не предусматривают мероприятий по контролю общего состояния механической части бортового редуктора, то были выполнены экспериментальные исследования по определению технического состояния двухрядного планетарного редуктора электромотор-колеса, которые позволили определить диагностические параметры люфтотметрии.

В настоящее время не установлены нормы угловых люфтов, при достижении которых эксплуатация автомобиля становится нецелесообразной из-за аварийного износа сопряженных деталей бортового редуктора. Для установления этих норм был проведен эксперимент, где под контролем находилось 40 бортовых редукторов 110-тонных автосамосвалов БелАЗ-7519, эксплуатирующихся в Киселевском угольном разрезе Кузбасса.

Используя конструкцию люфтомера собственного изготовления [4], был проведен массовый замер суммарных угловых зазоров (люфтов). На основании вероятностно-статистического метода были построены вариационные ряды и определены числовые характеристики распределения (табл. 1), а также построены кривые распределения (рис.1) суммарных угловых зазоров.

Таблица 1. Параметры распределения суммарного углового зазора РМК

Суммарный угловой зазор (люфт), град.					
1-я кривая распределения			2-я кривая распределения		
$M(\phi)_1$	σ_{n-1}^2	σ_{n-1}	$M(\phi)_2$	σ_{n-1}^2	σ_{n-1}
18	5	2	25	14	4

При этом, числовые характеристики включают следующие значения параметра: модальное значение (мода) – $M(\phi)$, математическое ожидание – $MO(\phi)$, дисперсия – σ_{n-1}^2 , среднеквадратичное отклонение – σ_{n-1} , допустимое значение – C_{don} , предельное значение – C_{np} .

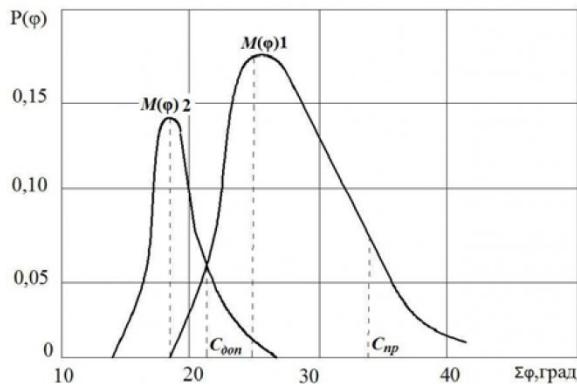


Рис.1. Кривые распределения суммарного углового люфта PMK: 1 кривая – новые PMK и после KP; 2 кривая – подконтрольная группа PMK с неисправностями деталей PMK

Два модальных значения (рис.1) характеризуют два состояния PMK. К первой моде (18°) можно отнести группу автомобилей с новыми бортовыми редукторами, а также с PMK после капитального ремонта. Так, автомобили БелАЗ-7519, перед первым выходом на линию имели суммарный люфт 18° , что соответствует модальному значению 1-ой кривой распределения и нормам завода изготовителя.

Второе состояние характерно для автомобилей, PMK которых прошли период приработки. Эта группа включает также редукторы с изношенными поверхностями или пластической деформацией зубьев шестерен. Такие детали носят допустимые повреждения поверхностей, при которых возможна их дальнейшая эксплуатация. Однако в эту группу входят и редукторы, которые имеют невосстанавливаемые повреждения. Характерными неисправностями являются отколы зубьев, усталостное выкрашивание поверхностей шестерен, срез шлицевых соединений. В этих случаях работающее масло в PMK приобретает темно-бурый цвет, с металлическими частицами крупных размеров, вязкость масла достигает значений $v = 34$ сСт и более. По результатам выполненных исследований были получены два значения параметра

суммарной люфтотметрии, которые позволяют судить о работоспособности PMK:

- допустимое значение параметра: $C_{don} = 22$, град.;
- предельное значение параметра: $C_{np} = 33$, град.

Первый параметр C_{don} определяет суммарный люфт новых бортовых редукторов или редукторов после капитального ремонта. Это значение примерно соответствует нормам завода изготовителя и на графике (рис. 1) C_{don} находится в точке пересечения кривых распределения.

Интервал $C_{don} \dots C_{np}$ характеризует работоспособное состояние PMK. Такие редукторы следует держать под контролем и при каждом техническом обслуживании производить замер углового люфта. Превышение полученного диагностического параметра C_{np} ведет к отказам, что, как правило, наблюдалось в эксплуатации.

Осмотр группы подконтрольных PMK позволил распределить состояние зубчатых передач следующим образом: слабое поверхностное выкрашивание – 5%; интенсивное поверхностное выкрашивание солнечной шестерни и сателлитов первого ряда – 19,5%; облом зубьев шестерен или сателлитов – 9,8%.

Изнашивание поверхности зубьев шестерен ведет к изменению угла перекрытия $\varphi_{защ}$, т.е. угол поворота шестерни, при котором зуб находится в зацеплении. Как правило, происходит снижение коэффициента торцевого перекрытия, нагрузка локализуется на меньшей длине зуба и усилие передается практически одной парой зубьев.

Суммарный угловой люфт, как диагностический параметр, формируется не только от изменения угла перекрытия зацепления. Зазоры в шлицевых соединениях также влияют на работоспособность PMK. Естественно, угловые зазоры в шлицевом соединении «торсионный вал – солнечная шестерня первого ряда» можно проверить при условии жесткого закрепления вала со стороны тягового электродвигателя стояночным ручным тормозом. При проворачивании торсионного вала люфтомером производятся измерения зазоров в шлицевых соединениях.

Расторможенный вал позволяет определить люфт первого ряда планетарной передачи редуктора. Такой люфт характеризует состояние шлицевого соединения «водило первого ряда – солнечная шестерня второго ряда». Этот люфт определяется при неполном проворачивании растор-

Таблица 2. Параметры распределения угловых зазоров шлицевых соединений

№ кривой	Соединение	Параметры распределения, градус				
		$M(\phi)$	$MO(\phi)$	σ_{n-1}^2	σ_{n-1}	C_{np}
1	Торсионный вал – солнечная шестерня первого ряда	1,2	2	7,95	2,82	5
2	Водило первого ряда – солнечная шестерня второго ряда	2	3,9	21,90	4,63	11

моженного вала до вхождения в зацепление шестерни второго ряда (при этом прослушивается характерный «удар»).

По результатам измерений были определены числовые характеристики (табл. 2) и построены кривые распределения угловых зазоров шлицевых соединений (рис. 2).

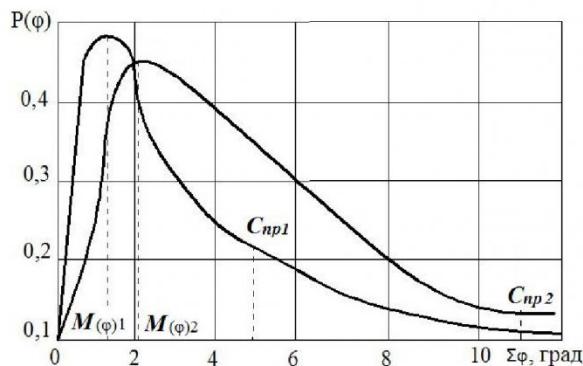


Рис. 2. Кривые распределения углового зазора шлицевых соединений:

- 1 кривая – «торсионный вал – солнечная шестерня первого ряда»;
- 2 кривая – «водило первого ряда – солнечная шестерня второго ряда»

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

- 10% бортовых редукторов имеют угловые зазоры шлицевого соединения «торсионный вал – солнечная шестерня первого ряда» в зоне близкой к предельному износу;
- 12,2% этого же соединения, находятся за пределами значений допустимого параметра;
- 5% соединений, «водило первого ряда – солнечная шестерня второго ряда», имеют предельный износ;
- 10% РМК, по этому же соединению, нахо-

дятся за допустимой зоной износа.

Для достоверности диагностирования РМК методом люфтотметрии было проведено обоснование точности измерений.

Люфт шлицевых соединений, как диагностический параметр, формируется за счет износа шлицевого соединения торсионного вала (m_2) и износа шлицевого соединения солнечной шестерни второго ряда (u_2).

Установлено, что предельные значения углового люфта распределяются соответственно $\phi_{mb} = 66\%$ – торсионный вал и $\phi_{u2} = 34\%$ – солнечная шестерня второго ряда. Для определения меры точности измерения структурного параметра, воспользуемся положением теории нормализации контроля [5], удовлетворяющей требованиям ГОСТ 8.051-81. Приведенная погрешность имеет вид

$$\delta_{ij} = \frac{100U_i}{2\Pi_{nj}(\phi_5)^n} \%,$$

где U_i – предельное отклонение значения i -го структурного параметра; Π_{nj} – предельное значение j -го диагностического (измеряемого) параметра; $(\phi_5)^n$ – коэффициент трансформации; n – порядок трансформации.

В нашем случае, элементы РМК, обеспечивающие безопасность движения, относятся к II категории точности с $n = 3$ и $\phi \approx 1,6$, что соответствует стандартному ряду R5.

Полученные погрешности $\delta_{u2} = 4,25\%$ и $\delta_{mb} = 8,25\%$ не превышают предельных погрешностей измерений 12,5%, что характерно для параметров автомобиля.

Точность диагностического параметра зависит также и от коэффициента влияния S_{ij} , который для нашего случая имеет числовые значения $S_{u2} = 0,56$ и $S_{mb} = 0,44$. Точность регистрации ди-

Таблица 3. Характеристики точности диагностирования соединений РМК

Показатели	Обозначение	Шлицевые соединения торсионного вала	Шлицевые соединения «водило – солнечная шестерня II ряда»
Приведенная погрешность, %	δ_{ij}	8,25	4,25
Точность регистрации диагностического параметра, %	δ_i		4,34
Коэффициент влияния	S_{ij}	0,44	0,56
Функциональный вес фактического состояния структурного элемента	h_i	0,44	0,56
Обратная суммарная величина фактического состояния	$\sum \frac{1}{h_i}$		4,05
Функция, характеризующая функциональные свойства фактического состояния в процессе диагностирования	B_i		0,56
Достоверность оценки	D_j		0,945

агностического параметра определяется по формуле

$$\delta_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_{ij} \delta_{ij})^2},$$

где m – число структурных параметров, влияющих на j – диагностический параметр.

Для оценки достоверности диагностирования вычисляются коэффициенты h_i , которые учитывают функциональный вес i -го структурного параметра в общей совокупности N диагностических параметров.

$$h_i = \frac{S_{ij}}{1}$$

$$\sum \frac{1}{h_i} = \frac{1}{h_{w2}} + \frac{1}{h_{mb}}.$$

Для учета $h_{min} = h_{mb}$, вводим функцию фактического состояния в зависимости от структурного параметра $B_i = f(h_i)$.

$$B_{mb} = \frac{1}{h_i \sum_{j=1}^N \frac{1}{h_j}}.$$

Задавшись достоверностью оценки технического состояния РМК не ниже $D_{ij} = 0,95$, получается достоверность диагностирования

$$D_j = \frac{B_i - 1}{2B_i} + \sqrt{\frac{(1 - B_i)^2}{4B_i^2} + \frac{D_{ij}}{B_i}}.$$

Числовые характеристики точности диагностирования шлицевых соединений РМК методом люфтотметрии представлены в таблице 3.

Изложенные результаты удовлетворяют требованиям точности измерения, а рассчитанная достоверность диагностирования шлицевых соединений РМК методом люфтотметрии соответствует заданной 0,95.

Следовательно, результаты, полученные при выполнении данных экспериментальных исследований, позволяют предложить диагностировать РМК автосамосвалов БелАЗ-7519 и их модификаций по суммарным угловым люфтам с помощью метода люфтотметрии.

Известно [1], что за последние десять лет ПО «БелАЗ» модернизировало практически все выпускаемые классы автосамосвалов. Близкими по грузоподъемности автосамосвалу БелАЗ-7519, серийно выпускаются автосамосвалы грузоподъемностью 120 – 136 т марок БелАЗ-7512, -7513, -7514 и их модификации.

Конструктивные и компоновочные схемы у этих автомобилей одинаковы. Поэтому в работе предложен общий подход к способу диагностирования РМК автосамосвалов БелАЗ особо большой грузоподъемности по суммарным угловым люфтам.

Естественно, что диагностические значения суммарных угловых зазоров в соединениях будут отличаться от предложенных в статье, однако их расчет не представляет особых сложностей, также как и создание довольно простой конструкции прибора-люфтотметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П.Л. Мариев [и др]. – СПб.: Наука, 2006. – 387 с.
2. Циперфин, И. М. Техническое обслуживание и ремонт автосамосвалов БелАЗ / И. М. Циперфин, А. Н. Казарез. – М.: Высш. школа, 1982. – 304 с.
3. Автомобили-самосвалы БелАЗ-549, БелАЗ-549В, БелАЗ-7519, БелАЗ-75191 и автопоезда-углевозы БелАЗ-7420-9590 и БелАЗ-74201-9590. Инструкция по эксплуатации. – М.: Белорус. автом. завод, 1984. – 400 с.
4. Оценка работоспособности редукторов мотор-колес автомобилей БелАЗ методом люфтотметрии / Ю. А. Власов, Н. Т. Тищенко, В. А. Аметов // Информ. листок, № 42-94. – Томск: ЦНТИ, 1994. – 4 с.
5. Сергеев, А. Г. Точность и достоверность диагностики автомобилей. – М.: Транспорт, 1980. – 188 с.

□ Авторы статьи:

Власов
Юрий Алексеевич,
канд.техн.наук,
доц. каф. «Автомобили и
тракторы» Томского государствен-
ного архитектурно-строительного
университета (ТГАСУ)
e-mail: yury2006@yandex.ru

Тищенко
Николай Терентьевич,
канд.техн.наук,
проф., зам. зав. каф.
«Автомобили
и тракторы» ТГАСУ
тел. (+7-382-2) 65-31-16.

Земляной
Сергей Александрович,
асп. каф. «Автомобили
и тракторы» ТГАСУ
тел. (+7-382-2) 65-31-16.