

УДК 629.06

Мухаметдинов Э.М., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail: funte@mail.ru;

Кулаков О.А., ведущий специалист, НП «КамАЗавтоспорт», e-mail: oleg.kulakov@kamaz.ru;

Грибков К.В., аспирант ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

МЕТОДИКА НЕПРЕРЫВНОГО БОРТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация: в статье освещается актуальная на сегодняшний день проблема разработки эффективных методов неразрушающего контроля технического состояния подшипников коробок передач грузовых автомобилей в условиях эксплуатации, с перспективой использования в бортовой системе диагностики агрегатов трансмиссии. Обоснована возможность повышения надежности грузовых автомобилей созданием современной системы и метода диагностики подшипников коробки передач по изменению технического состояния в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: надежность; диагностика; остаточный ресурс; бортовое диагностирование; коробка передач.

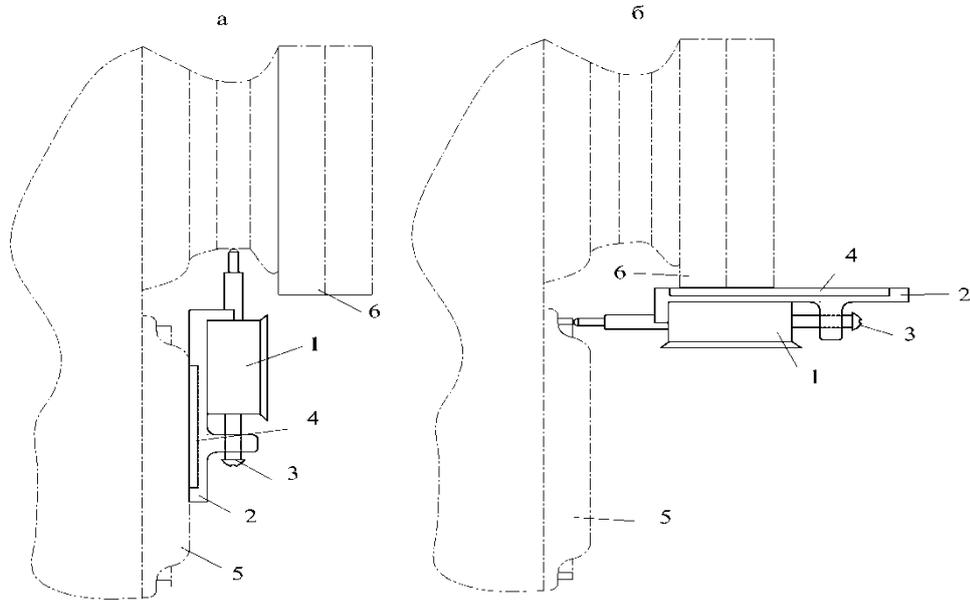
Как показывает практика эксплуатации автомобилей КАМАЗ, средний ресурс коробки передач существенно ниже заявленного. Это обусловлено в основном отказами вторичного вала, картера, подшипников, первичного вала, синхронизаторов [1]. Сопряжения коробки передач испытывают динамические нагрузки, как в окружном, так и в радиальном и осевом направлениях. В этих условиях интенсивность изнашивания деталей в процессе эксплуатации возрастает. Кроме того, в процессе эксплуатации изменяются и условия трения в сопряжениях. Неподвижные сопряжения наружной обоймы подшипников с картером или внутренних обойм с валом могут стать подвижными вследствие фреттинг-изнашивания. Наиболее изнашиваемыми сопряжениями коробки передач (КП) являются сопряжения наружных обойм подшипников первичного и вторичного валов с картером коробки. В исходном состоянии эти сопряжения неподвижны. При определенной степени разрушения поверхности посадочных

отверстий картера теряется неподвижность сопряжения и наблюдается уже трение скольжения со смазкой.

В процессе эксплуатации происходит постоянное переключение передач коробки с осевыми перемещениями валов, особенно вторичного (ведомого). Это приводит к возникновению осевых колебаний подшипников и вследствие фреттинг - изнашивания к потере неподвижного характера посадки их обойм в картере или на валах. Одновременно происходят и радиальные колебания валов под действием дисбаланса сцепления, карданного вала. Эти колебания также вызывают фреттинг – изнашивание в сопряжениях подшипников с картером и валами, приводящие к потере неподвижного характера этих сопряжений. После потери неподвижности сопряжения интенсивно возрастают радиальные зазоры валов, что существенно нарушает условия зацепления зубьев шестерен, переключения передач. Возрастает интенсивность повышения угловых зазоров за счет изнашивания элементов шлицевых сопряжений. Повышение угловых зазоров в свою очередь интенсифицирует рост осевых зазоров. В этом проявляется взаимное влияние технического состояния элементов коробки передач в процессе эксплуатации. Увеличение зазоров в сопряжениях вызывает повышение амплитуды динамических нагрузок, что передается посредством кинематических связей на соседние сопряжения, вызывая повышение интенсивности их изнашивания. Сопряжения трансмиссии являются динамически нагруженными, и возрастание зазоров в них происходит по экспоненциальной зависимости [2,3].

Были проведены исследования на снятых после эксплуатации КП [4,5], включающие полную разборку КП, микрометраж деталей (картер, вторичный вал, первичный вал, синхронизатор 4-5 передач), анализ состояния рабочих поверхностей деталей, а также предремонтное диагностирование по выбранным параметрам [6]. Измерения осевых и радиальных зазоров фланца вторичного вала КП производили индикаторами часового типа (точность 0,1мм), устанавливаемых в кронштейны с магнитным креплением (рис. 1). Собранные

статистические данные по изнашиванию деталей по результатам измерений приведены на рис.2-б.



1 – индикатор часового типа; 2 – кронштейн; 3 – винтовое крепление индикатора; 4 – магнит; 5 – крышка роликового подшипника КП; 6 – фланец вторичного вала КП.

Рис. 1. Схемы измерения радиального (а) и осевого (б) зазоров фланца вторичного вала КП автомобиля КАМАЗ

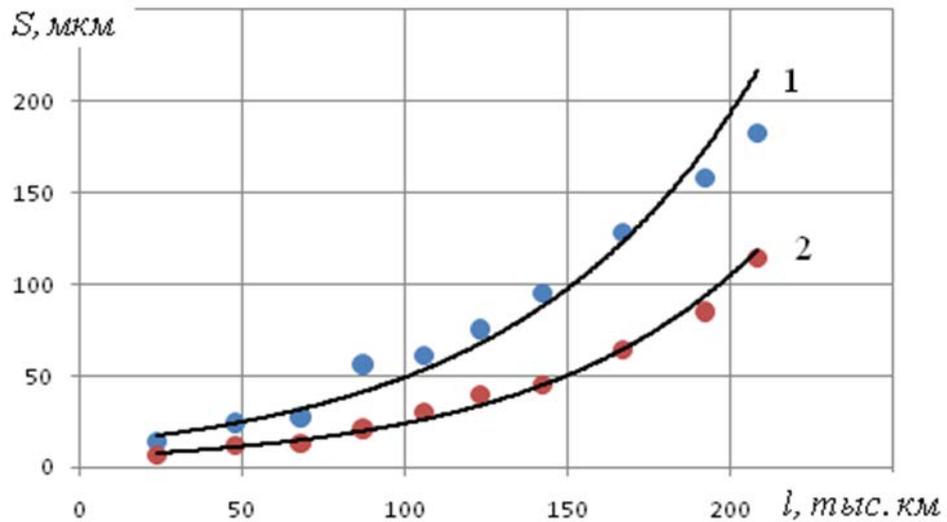


Рис. 2. Зависимость износа отверстий картера КП под подшипники первичного и вторичного валов (1), опоры подшипника между первичным и вторичным валами (2) от наработки автомобилей КАМАЗ

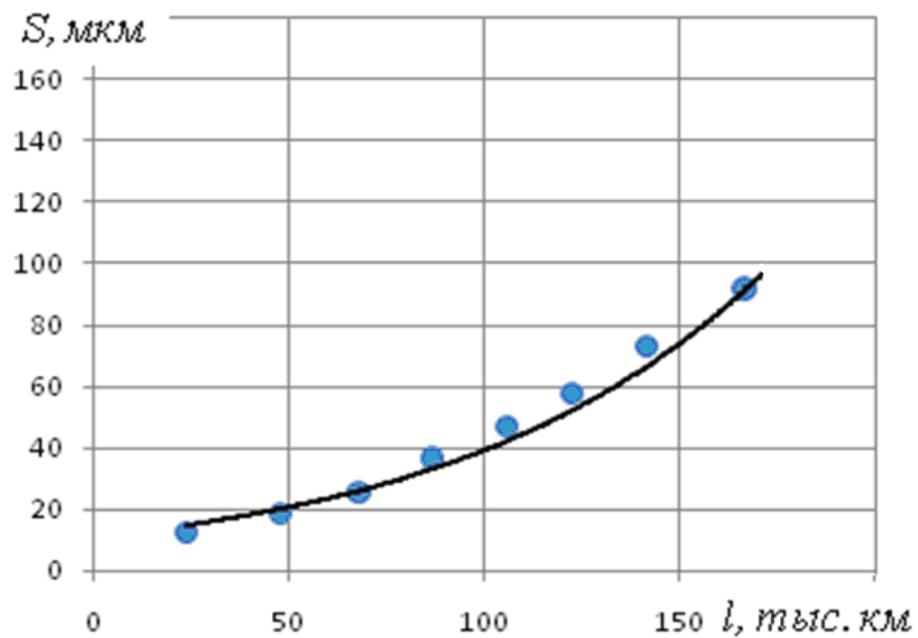


Рис. 3. Зависимость износа шейки первичного вала под передний подшипник от наработки автомобилей КАМАЗ

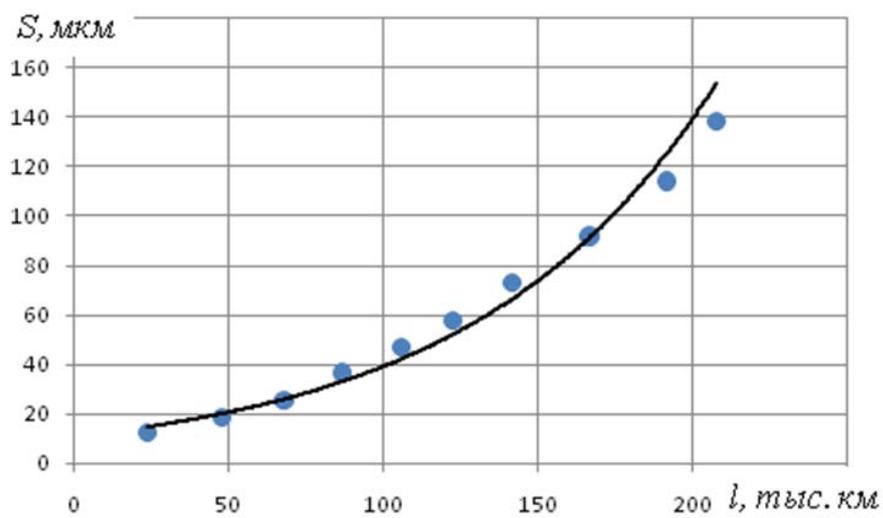


Рис. 4. Зависимость износа шейки вторичного вала под передний подшипник от наработки автомобилей КАМАЗ

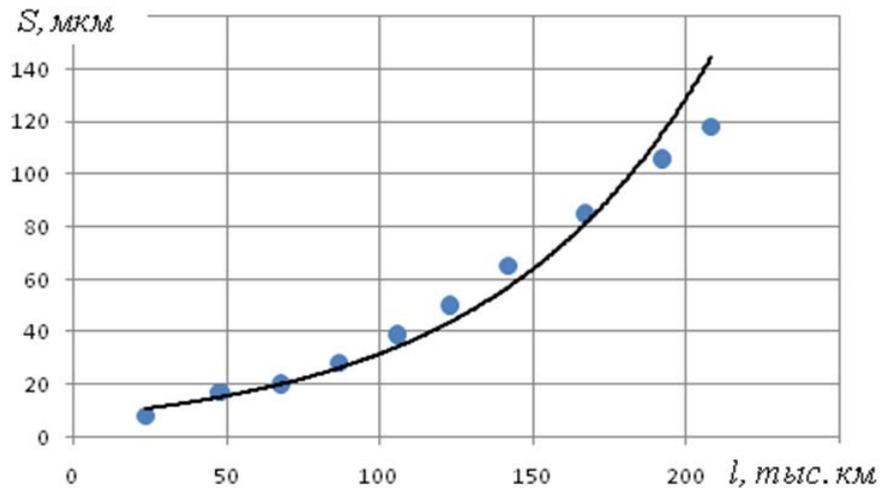


Рис. 5. Зависимость износа шейки вторичного вала под задний подшипник от наработки автомобилей КАМАЗ

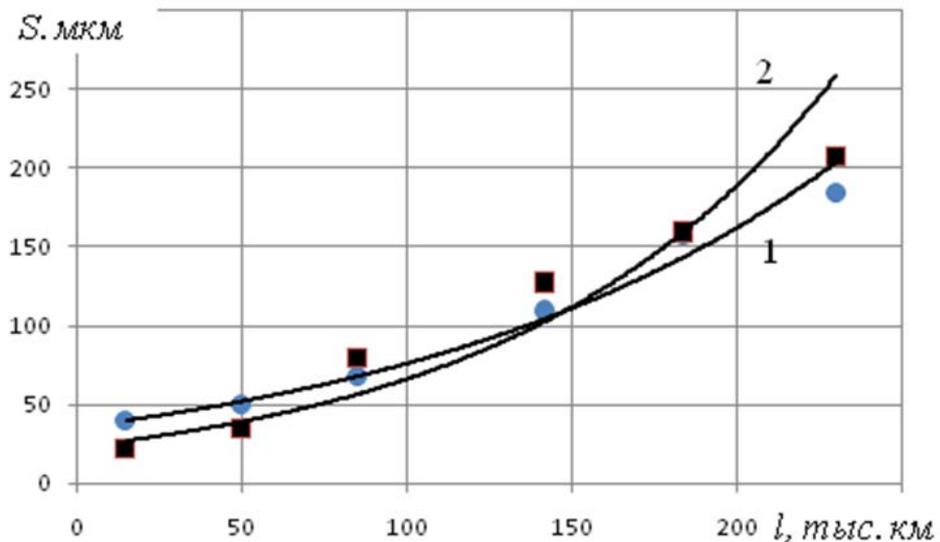


Рис. 6. Зависимость осевого (1) и радиального (2) зазоров фланца вторичного вала КП от наработки автомобилей КАМАЗ

Изнашивание и изменение геометрической формы деталей коробки передач обуславливает изменение диагностических параметров в процессе эксплуатации. В качестве диагностических параметров коробки передач приняты: угловой зазор (люфт) фланца вторичного вала на каждой передаче, осевой зазор фланца и радиальный зазор [7]. Собранные статистические данные по износу деталей и диагностическим параметрам коробок передач позволили определить параметры зависимости диагностических параметров от структурных, которые приведены в табл. 1, а сами зависимости - на рис. 7 - 9.

Полученные зависимости и их параметры свидетельствуют об однозначности, и даже линейности связи диагностических и структурных параметров, о чем говорят высокие значения коэффициента корреляции.

Таблица 1

Параметры зависимости диагностических параметров S от структурных x

Диагностические и структурные параметры	a	b	r^2
Зависимость углового зазора фланца вторичного вала (мин) от суммарного износа (мм) шлицев вторичного вала и синхронизатора 4-5 передач	46,5	12,6	0,99
Зависимость осевого зазора фланца вторичного вала (мкм) от торцевого биения вала (мкм)	28,69	1,309	0,98
Зависимость радиального зазора фланца вторичного вала (мкм) от износа отверстий картера (мкм)	38,59	0,506	0,982

Примечание: a, b - параметры линейной зависимости диагностического параметра S от структурного x ; $S = a + bx$; r^2 - коэффициент корреляции.

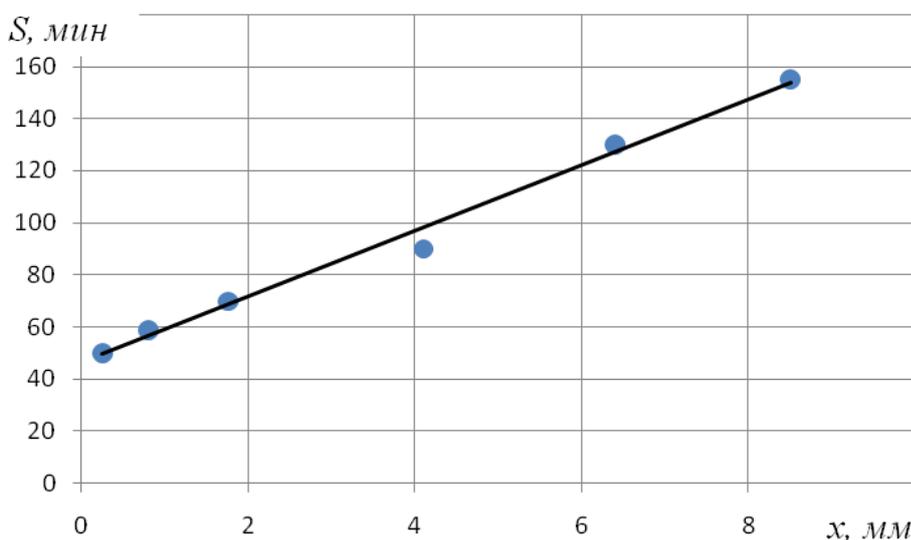


Рис. 7. Зависимость диагностического параметра – углового зазора фланца вторичного вала от структурного – суммарного износа шлицев

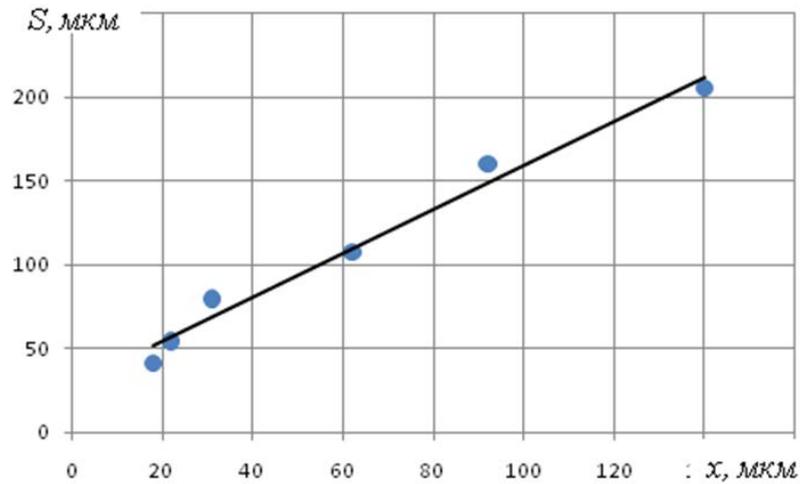


Рис. 8. Зависимость диагностического параметра – осевого зазора фланца вторичного вала от структурного – осевого биения

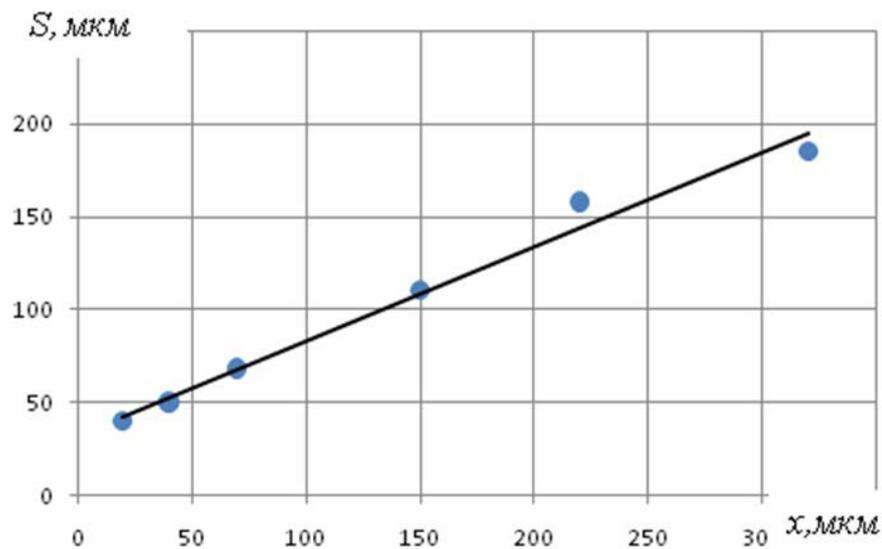


Рис. 9. Зависимость диагностического параметра – радиального зазора фланца вторичного вала от структурного – износа отверстий картера

То есть, все диагностические параметры отвечают требованию однозначности.

Чувствительность диагностического параметра оценивается коэффициентом чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{dS}{dx}, \quad (1)$$

где dS и dx – приращение соответственно структурного и диагностического параметров.

Из линейной зависимости видно, что K_q равен параметру b , значения которого можно считать высоким. То есть, указанные диагностические параметры обладают высокой чувствительностью.

Стабильность диагностического параметра характеризуется величиной рассеивания его при неизменном значении структурного. Проведенные 25 независимых измерений диагностических параметров при неизменном значении структурных позволили определить параметры распределения и погрешность диагностических параметров по формуле [1]:

$$\Delta S = t_{p,n} \times \frac{\sigma_S}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где $t_{p,n}$ - критерий Стьюдента при доверительной вероятности p и числе измерений n ; σ_S - среднеквадратическое отклонение единичного измерения S .

Параметры распределения и погрешности диагностических параметров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры распределения и погрешность диагностических параметров

Диагностический параметр	\bar{S}	σ	ΔS	$\delta_S, \%$
Угловой зазор	23,9	5,5	2,3	9,6
Осевой зазор	41,6	9,5	3,9	9,3
Радиальный зазор	36,5	7,5	3,2	8,6

Примечание к табл. 2 \bar{S} - среднее значение; σ - среднеквадратическое отклонение; ΔS - абсолютная погрешность; δ_S - относительная погрешность (точность).

Таким образом, меньшей относительной погрешностью обладает радиальный зазор фланца вторичного вала.

Информативность диагностического параметра оценивается повышением вероятности состояния объекта диагностирования после диагностирования. Его

можно оценить по результатам анализа распределений диагностического параметра по исправным и неисправным объектам диагностирования. Такие распределения получены по результатам измерений указанных диагностических параметров по исправным и неисправным коробкам передач. Для оценки значимости различия средних значений \bar{s}_1 и \bar{s}_2 , а, следовательно, информативности параметра S определили критерий Стьюдента [6,7]

$$t = \frac{|\bar{S}_2 - \bar{S}_1|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (3)$$

где σ - средняя величина среднеквадратических отклонений; n_1, n_2 - объем выборок.

Результаты оценок приведены в табл.3.

Таблица 3

Оценки информативности диагностических параметров

Диагностические параметры	\bar{s}_1	\bar{s}_2	σ_1	σ_2	t_P	t_{KP}
Суммарный угловой зазор	47,8	134,8	15,0	17,1	19,4	1,67
Осевой зазор	61,6	155	19,1	23,9	15,5	1,67
Радиальный зазор	72	150,8	16,0	20,6	15,6	1,67

Примечание: t - расчетный критерий Стьюдента; t_{KP} - критический критерий Стьюдента при доверительной вероятности 0,9.

Как видно из табл.3, различие \bar{S}_1 и \bar{S}_2 значимо с доверительной вероятностью 0,9 и выше. То есть, все эти диагностические параметры можно считать информативными.

Таким образом, все диагностические параметры отвечают основным требованиям в отношении структурных параметров.

В качестве номинальных значений диагностических параметров целесообразно принять значения, которые должны быть при сборке агрегатов. Для окружного, осевого и радиального зазоров номинальное значение можно принять равным нулю.

Предельное значение диагностического параметра определяется

статистическим методом, что потом можно уточнить по экономическому критерию. Предельную величину диагностического параметра можно определить путем измерения его у неисправных коробок передач. По этим редукторам было также получено распределение и определены его параметры. В данном случае необходимо ограничение предельного значения диагностического параметра по нижнему пределу с вероятностью $p \geq 0,95$.

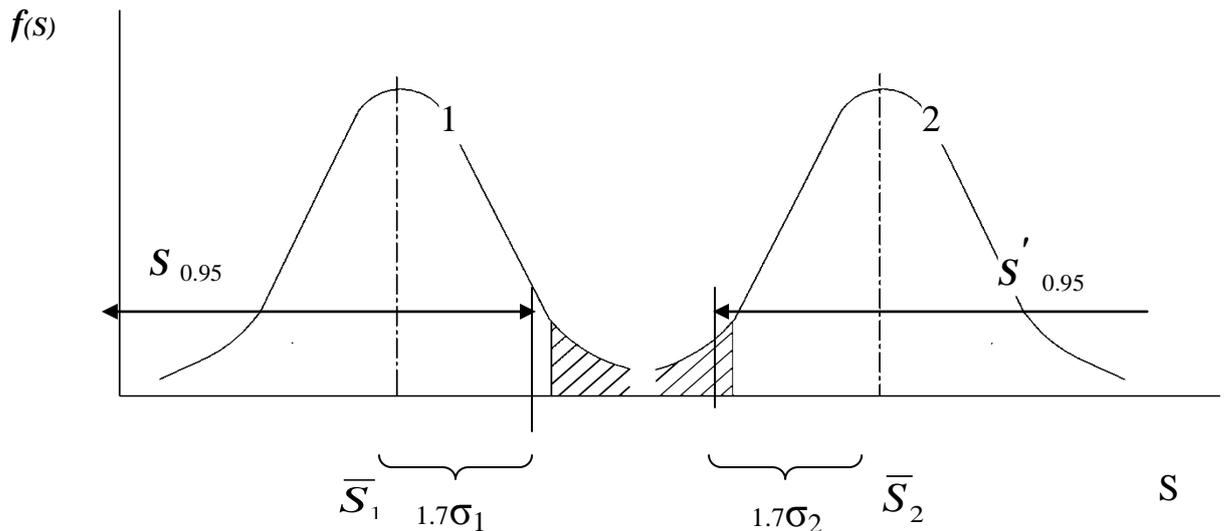


Рис. 10. Определение нормативного показателя по закону распределения исправных – 1 и неисправных – 2 объектов диагностирования при возрастании диагностического параметра в процессе эксплуатации

$$S_{0,95} = \bar{S}_1 + 1,7\sigma_1, \quad (4)$$

где \bar{S}_1 и σ_1 - соответственно среднее и среднеквадратическое отклонение значения диагностического параметра исправных редукторов.

$$S'_{0,95} = \bar{S}_2 - 1,7\sigma_2, \quad (5)$$

где \bar{S}_2 и σ_2 - соответственно среднее и среднеквадратическое отклонение значения диагностического параметра неисправных редукторов. Результаты расчетов приведены в табл.4.

Таблица 4

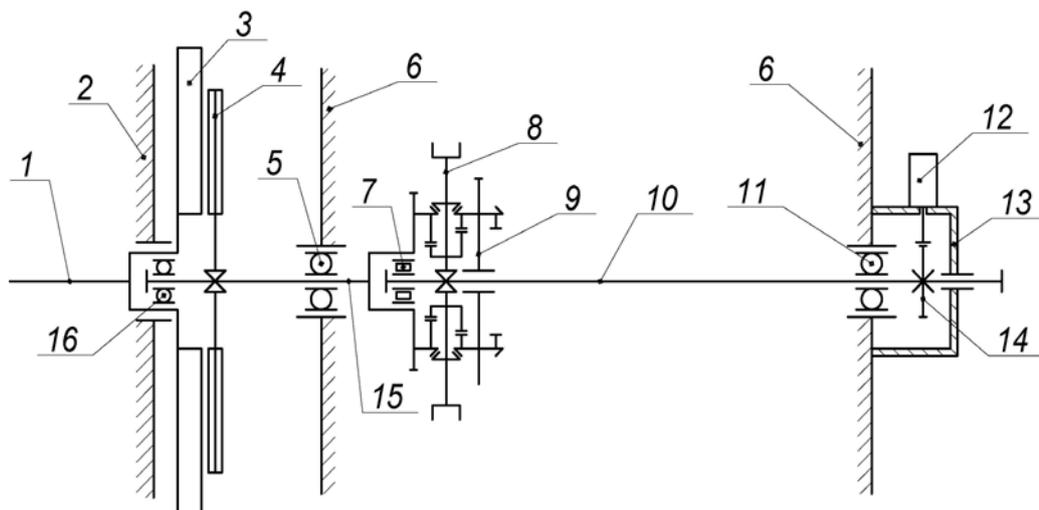
Параметры распределения и предельные значения диагностических параметров

Диагностические параметры	S_1	σ_1	$S_{0,95}$	S_2	σ_2	$S_{0,95}$
Суммарный угловой зазор	47,8	15,0	73	134,8	17,1	108
Осевой зазор	61,6	19,1	94	155	23,9	114
Радиальный зазор	72	16,0	99	150,8	20,6	116

Из табл. 4 видны значительные различия в предельных значениях, определенных по группе исправных и неисправных коробок передач. Поскольку неисправности КП не влияют на безопасность движения и не всегда обусловлены техническим состоянием (изношенностью) деталей, то в качестве предельных целесообразно принимать значения, полученные по неисправным коробкам передач. В дальнейшем нормативы целесообразно уточнить по экономическому критерию.

Анализ приведенных данных по изнашиванию и взаимному влиянию элементов коробки перемены передач и способа предремонтного диагностирования привел к выводу о том, что основными признаками неисправности являются появляющиеся радиальные зазоры и динамические нагрузки [7]. Одним из важнейших параметров, определяющих виброактивность подшипников качения, является величина радиального зазора.

Во время эксплуатации автомобиля температура в опорном подшипнике первичного вала складывается за счёт нагрева коленчатого вала двигателя от масла и блока цилиндров маховика за счёт трения с диском сцепления и резинового уплотнительного кольца, установленного на заднем торце коленчатого вала, за счёт силы трения, возникающей при вращении коленчатого вала. Температура в опорном подшипнике первичного вала во время работы составляет порядка 150 С, что приводит к разжижению и вытеканию смазки из опорного подшипника) первичного вала. Уменьшение количества смазки приводит к более скорому отказу опорного подшипника первичного вала.



1 – коленчатый вал; 2 – блок цилиндров; 3 – маховик; 4 – узел сцепления; 5, 7, 11, 16 – подшипник; 6 – картер коробки передач; 8 – синхронизатор IV-V передач; 9 – шестерня IV передачи; 10 – вторичный вал коробки передач; 12 – индуктивный датчик положения; 13 – крышка заднего подшипника вторичного вала; 14 – червяк привода спидометра; 15 – первичный вал коробки передач.

Рис. 11. Кинематическая схема валов и опор КП

Повышение нагрузки на первичный вал коробки передач вследствие образования дисбаланса сцепления [8,9], возникающего вследствие нарушения центрирования среднего ведущего диска, также способствует скорому выходу из строя опорного подшипника первичного вала, установленного в заднем торце коленчатого вала.

Разрушение опорного подшипника первичного вала коробки передач, установленного в заднем торце коленчатого вала, приводит к тому, что первичный вал коробки передач теряет переднюю опору в пределах диаметра шариков. Этот консольный конец воспринимает динамические нагрузки от дисбаланса сцепления, за счёт чего появляется отклонение оси вращения первичного вала коробки передач в пределах этого зазора, что является причиной прецессии вала и вызывает повышение амплитуды динамических нагрузок, которые передаются посредством кинематических связей на зубчатое сопряжение первичного вала коробки передач с синхронизатором IV-V передач и на шлицевое сопряжение синхронизатора IV-V передач с вторичным валом, вызывая повышение интенсивности изнашивания этих поверхностей.

Наряду с этим при изнашивании опорных подшипников первичного и

вторичного валов коробки передач кроме радиального биения вторичного вала появится прецессия вторичного вала.

Вращение – это угловое движение вала вокруг своего геометрического центра с или оси вала без перемещения и вибрации этого центра. Прецессия – это перемещение, или вибрация, геометрического центра вала в плоскости, которая перпендикулярна оси вала.

Устройство непрерывного диагностирования технического состояния опорных подшипников первичного и вторичного валов коробки передач КАМАЗ в эксплуатации, представляет смонтированный в крышку заднего подшипника вторичного вала коробки передач датчик на некотором расстоянии от подшипника с плечом L , например индуктивный датчик положения, сигнала которого от начального радиального биения возрастает вследствие образования прецессии оси вторичного вала, вызванной переломом общей оси валов при изнашивании подшипников.

Отклонение сигнала от номинального значения свидетельствует о повышенной амплитуде биения вторичного вала коробки передач вследствие образования прецессии оси вала из-за неисправности хотя бы одного опорного подшипника первичного и вторичного валов коробки передач.

Предлагаемое устройство позволит диагностировать разрушение опорных подшипников первичного и вторичного валов на ранних стадиях, что позволит избежать повышенного износа остальных деталей коробки передач, а именно вторичного вала коробки передач, шестерен и синхронизаторов вторичного вала коробки передач.

Прецессия конца вторичного вала является по сути структурным параметром, который очень информативен и может контролироваться непрерывно при работе силового агрегата, что важно применить при бортовой диагностике износа деталей коробки передач, в частности износа опорных подшипников, поддерживающих во вращении первичный и вторичный валы коробки передач КАМАЗ.

Литература

1. Азаматов Р.А., Дажин В.Г., Кулаков А.Т., Модин А.И. Восстановление деталей автомобилей КАМАЗ / Под ред. В.Г. Дажина. – Набережные Челны: КАМАЗ, 1994, - 215с.
2. Лянденбургский В.В., Нефедов М.В., Боровков В.Н. Встроенная система диагностирования коробки передач автомобилей. [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Выпуск 5 (24), сентябрь – октябрь 2014: сайт. – URL: <http://naukovedenie.ru> (дата обращения 25.01.2018).
3. Мухаметдинов Э.М. Совершенствование системы фирменного сервиса с целью повышения безотказности автомобилей: дисс... канд. техн. наук. - Оренбург, 2009.
4. Туркеев Г.Г. Анализ способов восстановления вторичного вала коробки передач автомобиля КАМАЗ // Совершенствование технологий и организация работоспособности машин: межвуз. науч. сб. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. - С.100-102.
5. Туркеев Г.Г. Аналитические предпосылки изменения технического состояния коробки передач в процессе эксплуатации / А.С. Денисов, Г.Г. Туркеев // Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 70-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко, 11-12 июля. – Ч.Ш. - Саратов: Саратов. гос. аграр. ун-т, 2006. - С.19-25.
6. Плаксин А. М., Гриценко А. В. Разработка средств и методов тестового диагностирования машин // Вестник КрасГАУ. - 2016. - № 12. - С. 123-128.
7. Денисов А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1999. – 352с.
8. Кулаков, А.Т. Восстановление работоспособности сцеплений грузовых автомобилей усовершенствованным ремонтным комплектом/ А.Т. Кулаков, С.Ю. Коваленко, Ш.С. Хуснетдинов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. - № 12. - С. 233-240.
9. Хуснетдинов, Ш.С. Диагностирование сцепления автомобиля по показателям вибрации силового агрегата / Ш.С. Хуснетдинов, Е.А. Пеньков,

*Mukhametdinov E.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University, funte@mail.ru;
Kulakov O.A., leading expert, NP «Kamazavtosport», oleg.kulakov@kamaz.ru;
Gribkov K.V., Orenburg State University*

TITLE OF ARTICLE

Abstract: in article the problem of development of effective methods of nondestructive control of technical condition of bearings of truck transmissions of relevant today under operating conditions, with the prospect of use in the on-board system of diagnostics of units of transmission is covered. The possibility of increase in reliability of trucks by creation of modern system and a method of diagnostics of bearings of the transmission on change of technical condition in use is proved.

Key words: reliability, diagnostics, l residual life, on-board diagnosing, transmission.