

УДК 629.3.021

*Барыкин А.Ю., канд. техн. наук, доцент, Набережночелнинский институт
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail:
AJBarykin@kpfu.ru*

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА

Аннотация: В статье приведены результаты анализа факторов, определяющих эксплуатационную надёжность дифференциала автомобиля в различных условиях движения. Дано описание математической модели межколёсного конического дифференциала малого трения, оснащённого механизмом принудительной блокировки. Предложена целевая функция, характеризующая уровень работоспособности и безотказности дифференциала.

Ключевые слова: автомобиль, дифференциал, сателлит, полуосевая шестерня, механизм блокировки, условия эксплуатации

Введение

В трансмиссии современных автомобилей, как правило, используется механизм, обеспечивающий распределение крутящих моментов по ведущим колёсам при возможном кинематическом рассогласовании в приводе колёс. Если в конструкции предусмотрены две ведущие оси или более, необходимо учитывать возникающее межосевое рассогласование и применять соответствующее конструктивное решение. Поэтому в трансмиссии многоосных и полноприводных автомобилей могут применяться несколько распределяющих механизмов, которые получили названия межколёсных и межосевых дифференциалов [1, с. 176]. Значительно реже в трансмиссиях автомобилей специального назначения используют также межбортовые дифференциалы [2, с. 147].

При движении в сложных дорожных условиях для обеспечения проходимости автомобиля применяют дифференциалы с повышенным или переменным трением, а для шестерённых дифференциалов с малым внутренним трением используют механическую блокировку [3, с. 122-123]. Как

правило, необходимость ограничения рассогласования в межколёсном и межосевом приводах возникает в тех случаях, когда ведущие колёса перемещаются по опорным поверхностям со значительной разницей коэффициентов сцепления и сопротивления качению, продольных и поперечных уклонов. Соответственно отличаются и вертикальные реакции на колёсах, что в итоге приводит к изменению возможности реализации тяговых сил [4, с. 17-18]. При этом принудительная блокировка дифференциалов может приводить к значительному нагружению трансмиссии из-за возникновения циркулирующих моментов [2, с. 152].

Рациональный выбор механизма распределения мощности необходимо осуществлять с учётом ряда факторов естественно-технической системы «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда», обуславливающих возможность реализации тяговых сил в различных условиях [5, с. 18].

Факторы обеспечения эксплуатационной надёжности дифференциала

Долговечность и безотказность конструкции дифференциала является важной составляющей частью обеспечения эксплуатационной надёжности автомобиля в целом. Рассмотрим факторы, определяющие нагруженность межколёсного конического дифференциала малого трения с механизмом принудительной блокировки зубчатой муфтой, как наиболее часто применяемой конструкции механизма распределения мощности (рис. 1).

Опыт эксплуатации показывает, что отказы деталей дифференциала происходят как в результате воздействия однократных динамических реакций, так и вследствие длительных циклических нагрузок, что приводит к возникновению трещин, обломов, сколов деталей (в первом случае), задиров, рисков и износа во втором случае [6, с. 127-130]. Обеспечение эксплуатационной надёжности дифференциала может быть получено при последовательном решении вопросов конструирования и эксплуатации узла, связанных с обоснованием выбора технических параметров деталей и последующим контролем технического состояния.



Рис. 1. Межколёсный дифференциал автомобиля КАМАЗ

При конструировании дифференциала необходимо принять рациональные значения размеров основных деталей (полуосевых шестерён, сателлитов, крестовины), параметры пар трения скольжения (сателлит – чашка дифференциала, сателлит – ось крестовины, полуосевая шестерня – чашка дифференциала), выбрать тип зубчатой муфты и рациональные значения размеров блокирующих элементов (рис. 2). Для определённых типоразмеров автотранспортных средств может возникнуть необходимость выбора числа сателлитов и формы опорной поверхности сателлита, контактирующей с чашкой дифференциала.



Рис. 2. Зубчатая муфта механизма блокировки межколёсного дифференциала автомобиля КАМАЗ

Основы математической модели дифференциала

Методика расчёта параметров дифференциала должна учитывать влияние факторов, приводящих к сокращению срока службы. В отечественных условиях эксплуатации необходимо прежде всего обращать внимание на тепловое состояние деталей и трансмиссионного масла, так как в зимних условиях эксплуатации высока вероятность отказов из-за ухудшения условий смазки и возрастания хладноломкости. Кроме того, следует принимать во внимание воздействие динамических нагрузок при движении по неровным дорогам и пересечённой местности.

В работе [7, с. 84] предложены зависимости, определяющие окружное усилие, передаваемое сателлитом на полуосевую шестерню, и напряжение смятия, действующее на опорную поверхность чашки дифференциала, в которых учтены динамические нагрузки и неравномерность нагружения сателлитов.

В работе [8, с. 93-94] установлены нормальные и касательные напряжения, действующие на зубья муфты блокировки межколёсного дифференциала (рис. 2), и осевое усилие, создаваемое механизмом блокировки в шлицевом соединении с полуосью. В данной методике учтены условия сцепления ведущих колёс с опорной поверхностью и нестабильность усилия гидропривода включения муфты, вызванная изменением вязкости рабочей жидкости.

Условия контакта сателлитов и корпуса дифференциала на поверхностях усечённого конуса и шарового слоя рассмотрены автором в работе [9, с. 48-49], где выведены математические выражения площадей контакта и напряжений смятия для обоих конструктивных вариантов. Предложенная методика позволяет повысить точность расчётов и произвести выбор рациональной конструкции для заданных условий эксплуатации:

$$S_{con} = 0,25\pi(d_{otv}^2 - d_{ak}^2) \cos(\delta/2)$$

$$S_{shs} = 2\pi L_{ob}(l_{sat} - b_{sat} \cos(\delta/2)) + 0,25\pi(d_{otv}^2 + d_{ak}^2)$$

где S_{con} - площадь контакта сателлита и корпуса дифференциала на поверхности усечённого конуса; S_{shs} - площадь контакта сателлита и корпуса дифференциала на поверхности шарового слоя; d_{otv} - диаметр отверстия ступицы сателлита; d_{ak} - внешний диаметр антифрикционного кольца; δ - угол делительного конуса сателлита; L_{ob} - длина образующей конуса сателлита; l_{sat} - длина ступицы сателлита; b_{sat} - ширина зуба сателлита.

$$\sigma_{smc} = \frac{4P_{sat} \tan(\alpha_{\omega}) \tan(\delta/2)}{\pi(d_{otv}^2 - d_{ak}^2)}$$
$$\sigma_{sms} = \frac{4P_{sat} \tan(\alpha_{\omega}) \sin(\delta/2)}{2\pi L_{ob}(l_{sat} - b_{sat} \cos(\delta/2)) + 0,25\pi(d_{otv}^2 + d_{ak}^2)}$$

где σ_{smc} - напряжение смятия на поверхности усечённого конуса; σ_{sms} - напряжение смятия на поверхности шарового слоя; P_{sat} - сила, действующая на сателлит; α_{ω} - угол зацепления.

Техническое состояние дифференциала, как показано выше, существенно зависит от условий эксплуатации, в особенности при воздействии низких температур [10, с. 63-64], и поэтому требует контроля по заданным параметрам. Необходимо учитывать, что межколёсный дифференциал расположен внутри картера главной передачи и балки ведущего моста (рис. 1), поэтому непосредственный контроль состояния деталей, оценка степени износа, наличие повреждений и т. д. представляются весьма сложными, так как требуется разборка соответствующих узлов. Трудоемкость таких действий возрастает из-за необходимости обеспечения жесткости главной передачи за счёт создания предварительного натяга подшипников. Нарушение преднатяга подшипников, приработки деталей, герметичности узлов могут быть причинами выхода из строя ведущих мостов [11, с. 223].

Необходимо осуществлять контроль технического состояния межколёсного дифференциала по косвенным параметрам, которые имеют достаточно хорошую корреляцию с пробегом до предотказного состояния. При этом использование комплекса параметров позволяет исключить

ошибочную оценку ресурса дифференциала. В работе [12] автором предложена целевая функция Λ , которая учитывает в качестве частных критериев следующие параметры: минимальный радиус поворота автомобиля R_{min} , разность крутящих моментов на колёсах ΔM_t , уровень шума в картере ведущего моста H_t , среднеобъёмную температуру картера T_{vm} :

$$\Lambda = \sum_{i=1}^4 F_i = \chi_1 \left(\frac{R_{mine} - R_{min}}{R_{mine}} \right) + \chi_2 \left(\frac{\Delta M_{te} - \Delta M_t}{\Delta M_{te}} \right) + \chi_3 \left(\frac{H_{te} - H_t}{H_{te}} \right) + \chi_4 \left(\frac{T_{vme} - T_{vm}}{T_{vme}} \right)$$

где $\chi_1 \dots \chi_4$ – весовые коэффициенты, R_{mine} , ΔM_{te} , H_{te} , T_{vme} – эталонные значения соответствующих частных критериев.

Относительное отклонение данных параметров от некоторого эталонного значения характеризует в целевой функции приближение к предотказному состоянию. При этом достоверность оценки оценивается по условию весомого отклонения большинства критериев.

Выводы

Использование описанных методик позволяет, по мнению автора, повысить достоверность выбора конструктивных параметров и точность оценки технического состояния автомобильного дифференциала. Своевременный контроль технического состояния даст возможность с наименьшими затратами добиться высокого уровня безотказности узла и повысить его эксплуатационную надёжность.

Список использованных источников

1. Гусаков, Н. В. Конструкция автомобиля. Шасси / Н. В. Гусаков, И. Н. Зверев, А. Л. Карунин [и др.] // Под общ. ред. А. Л. Карунина. – Москва: МАМИ, 2000. – 528 с. – Текст: непосредственный.
2. Осепчугов, В. В. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебн. для студ. вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В.

- В. Осепчугов, А. К. Фрумкин. – Москва: Машиностроение, 1989. – 304 с. – Текст: непосредственный.
3. Селифонов, В. В. Теория автомобиля. Учебное пособие. – Москва: ООО «Гринлайт», 2009. – 208 с. – Текст: непосредственный.
4. Барыкин, А. Ю. Самоблокирующийся дифференциал: вероятность и способы использования сцепления колёс с дорогой / А. Ю. Барыкин. – Текст: непосредственный // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 9. – С. 17-21.
5. Барыкин, А. Ю. Сравнительные характеристики межколёсных дифференциалов различных типов / А. Ю. Барыкин. – Текст: непосредственный // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 5. – С. 15-19.
6. Азаматов, Р. А. Восстановление деталей автомобилей КамАЗ / Р. А. Азаматов, В. Г. Дажин, А. Т. Кулаков [и др.]. – Вологда: ПФ «Полиграфист», 1994. – 215 с. – Текст: непосредственный.
7. Барыкин, А. Ю. К вопросу моделирования эксплуатационных нагрузок в приводе колес грузового автомобиля / А. Ю. Барыкин, Р. М. Галиев, Э. М. Мухаметдинов, В. М. Нигметзянова, Д. И. Нуретдинов. – Текст: непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – №11. – С. 82-84.
8. Барыкин, А. Ю. Математическая модель рабочего процесса механизма блокировки межколёсного дифференциала грузового автомобиля / А. Ю. Барыкин, Р. Р. Басыров, Р. М. Галиев, Д. И. Нуретдинов, И. Ф. Шайхутдинов. – Текст: непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья, 2021. – № 10. – С. 92-94.
9. Барыкин, А. Ю. Влияние конструктивных особенностей и условий эксплуатации деталей на долговечность и ремонтпригодность дифференциалов малого трения / А. Ю. Барыкин. – Текст: непосредственный // Итоговая научная конференция: (2016; Набережные Челны): сб-к докладов. В 3-х ч. Часть 1. – Набережные Челны: ИПЦ НЧИ К(П)ФУ, 2016. – С. 47-50.

10. Курдин, П.Г. Современные проблемы эксплуатации автомобилей в условиях низких температур независимо от климатической зоны / П.Г. Курдин, Ю.К. Филиппов, В.А. Токарев. – Текст: непосредственный // Итоговая научная конференция: (2018; Набережные Челны): сб-к докладов. - Набережные Челны: ИПЦ НЧИ К(П)ФУ, 2018. – С. 62-73.
11. Лоскутов, М. А. Причины выхода из строя ведущих мостов большегрузных автомобилей в процессе эксплуатации / М. А. Лоскутов, Н. П. Мамаков, М. М. Мухаметдинов, В. А. Токарев. – Текст: непосредственный // Гуманитарные, естественно-научные и технические решения современности в условиях цифровизации. Материалы XII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Южный университет «ИУБИП», ООО «Издательство ВВМ», 2021. – С. 223-225.
12. Барыкин, А. Ю. К вопросу оценки технического состояния межосевых и межколёсных конических дифференциалов / А. Ю. Барыкин. – Текст: непосредственный // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: ИжГТУ, 2022. – С. 23-27.

Barykin A.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Naberezhnye Chelny Institute of the Kazan (Volga Region) Federal University

OPERATIONAL RELIABILITY OF THE AUTOMOBILE DIFFERENTIAL

Abstract: The article presents the results of the analysis of factors determining the operational reliability of the differential of the car in various driving conditions. The description of a mathematical model of a low-friction inter-wheel conical differential equipped with a forced locking mechanism is given. An objective function is proposed that characterizes the level of operability and reliability of the differential.

Keywords: car, differential, satellite, semi-axial gear, locking mechanism, operating conditions