

УДК 621.83.06

И.С. САЗОНОВ, М.Е. ЛУСТЕНКОВ, доктора техн. наук

А.П. ПРУДНИКОВ, канд. техн. наук

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

КУЛАЧКОВЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ПОВЫШЕННОГО ТРЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КАЧЕНИЯ

Приведен анализ конструкций дифференциалов повышенного трения, созданных на основе передач с промежуточными телами качения. Разработана конструкция двухрядного симметричного дифференциала повышенного трения. Промежуточные элементы выполнены в виде составных роликов. Изготовлен опытный образец, определен его КПД. Разработанный дифференциал имеет малые радиальные габариты и обладает возможностью компенсации износа рабочих поверхностей.

Ключевые слова: дифференциал, передача, редуктор, кулачок, тела качения, ролик, КПД

Дифференциалы повышенного трения (ДПТ) могут обеспечить автоматическую блокировку колес и способны автоматически перераспределять крутящие моменты на полуосях транспортного средства при буксовании одного из колес. К настоящему времени разработано множество конструкций ДПТ. Принцип действия кулачковых (сухарных) дифференциалов [1] основан на использовании двухрядного кулачково-плунжерного зацепления. Они устанавливались в автомобилях ГАЗ-62 (1959 года выпуска), ГАЗ-66, в некоторых моделях БТР. К недостаткам этого типа ДПТ следует отнести пониженную нагрузочную способность, т. к. передает нагрузку только половина плунжеров (12 из 24) двухрядного механизма, а в определенные моменты только 25 % от их общего числа. Это вызывает повышенный износ кулачковых поверхностей и плунжеров (сухарей), увеличению люфтов, шуму.

Применение тел качения вместо плунжеров позволяет частично заменить скольжение качением и снизить интенсивность изнашивания. Известны конструкции, запатентованные в начале XX века. V. Alten предложил шариковый дифференциал (патент Германии №391583, 1924 года), состоящий из двух чашек, соединенных с полуосями автомобиля. На обращенных друг к другу торцах чашек были исполнены замкнутые четырехпериодные беговые дорожки. Между чашками устанавливался сепаратор — диск с радиальными пазами, соединенный с шестерней главной передачи. В пазах сепаратора и по беговым дорожкам чашек перемещались шарики. F. Porsche и K. Rabe разработали конструкцию шарикового дифференциала (патент США № 1946358, 1934 года), со сферическими кулачками. Применение роликов в качестве тел качения позволяет повысить нагрузочную способность дифференциала [2] и снизить износ его деталей, т. к. увеличивается длина контактных линий и снижаются контактные напряжения. Один из первых дифференциалов с роликами запатентовал в США Н. Knab (патент США № 1689285 в 1928 году).

Рассмотренные конструкции имели увеличенные диаметральный габариты, так как перемещение центров масс тел качения в процессе работы осуществляется в радиальном направлении. Использование кинематических схем механизмов с осевым перемещением тел качения позволяет уменьшить размеры дифференциала и улучшить профильную проходимость автомо-

биля (увеличить клиренс). W. Altmann разработал ДПТ, по структуре аналогичный радиальному шариковому подшипнику (патент ФРГ № 801421, 1951 г.). Полуоси автомобиля связаны с внутренним и наружным кольцами, а сепаратор — с главной передачей. Беговые дорожки на поверхностях колец, обращенных друг к другу, изготовлены в виде замкнутых синусоид с разным числом периодов (несимметричный дифференциал). Сепаратор имел продольные пазы для перемещения шариков в процессе работы. Осевое перемещение тел качения реализуется также в шариковом редукторе [3], нашедшем применение в технике для бурения скважин вследствие малых радиальных габаритов. В Белорусско-Российском университете были разработаны конструкции однорядного [4] и двухрядного [5] дифференциалов на основе передач с промежуточными элементами (телами качения) [6]. При этом использовались наклонные кольцевые канавки (однопериодными синусоидами, замкнутыми на цилиндрической поверхности), образованные торцовыми кулачками. Это позволило повысить ремонтпригодность механизма и компенсировать износ рабочих поверхностей кулачков, путем их постепенного осевого перемещения. Несмотря на технологичность изготовления деталей ДПТ, из-за ограниченного числа тел качения передающих нагрузку и небольших длин контактных линий механизмы имели малую нагрузочную способность.

Во всех рассмотренных конструкциях присутствует одновременный контакт тел качения с тремя поверхностями, что повышает потери на трение. Это увеличивает значение коэффициента блокировки, но снижает долговечность механизмов.

Задачей настоящей работы являлась разработка конструкции симметричного дифференциала повышенного трения с телами качения в виде роликов, обеспечивающая минимальный износ рабочих поверхностей. Результаты компьютерного моделирования в системе Siemens NX установлено, что для обеспечения работоспособности дифференциала он должен изготавливаться двухрядным или с большим количеством рядов [7].

Разработанная конструкция двухрядного симметричного роликового ДПТ [8] показана на рисунке 1. Дифференциал состоит из двух обойм 1 и 3, связанных с левой и правой полуосями автомобиля с помощью шлицевых соединений. На обойме 1 установлены

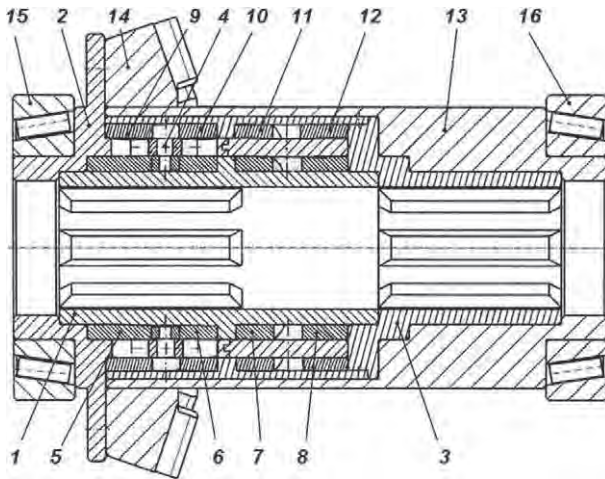


Рисунок 1 — Конструкция двухрядного роликового дифференциала

внутренние кулачки 5, 6, 7 и 8, образующие две замкнутые периодические беговые дорожки. На обойме 3 установлены наружные кулачки 9, 10, 11 и 12, также образующие две беговые дорожки. Для обеспечения симметричности дифференциала все кулачки имеют одинаковое число выступов.

Сепаратор 2 с двумя рядами осевых пазов соединен с корпусом 13 и зубчатым колесом 14 главной передачи. Тела качения 4 перемещаются по беговым дорожкам, образованным внутренними и наружными кулачками, а также в продольных пазах сепаратора. Дифференциал устанавливается на раме автомобиля с помощью конических подшипников качения 15 и 16. Внутренние кулачки 6 и 7, а также наружные кулачки 10 и 11 жестко фиксируются в соответствующих обоймах. Кулачки 5, 8, 9 и 12 имеют возможность небольших перемещений в радиальных пазах обойм, что позволяет периодически компенсировать износ в механизме. Сепаратор с двумя рядами осевых пазов спроектирован составным и состоит из двух гильз, которые устанавливаются относительно друг друга при сборке с определенным углом, и фиксируются винтами.

Каждый промежуточный элемент (тело качения) состоит из трех деталей: ступенчатого стержня и двух втулок, установленных на этом стержне по переходной посадке с возможностью вращения [9]. Одна втулка обкатывается по продольным пазам сепаратора, верхний конец ступенчатого стержня обкатывается по замкнутому периодическим беговым дорожкам, образованными наружными кулачками, другая втулка обкатывается по беговой дорожке, образованной внутренними кулачками. Трение скольжения заменяется на трение качения, которое сопровождается меньшими потерями мощности и вызывает меньший износ.

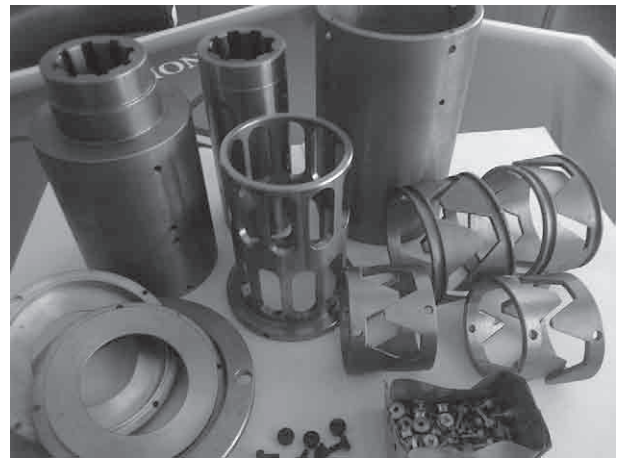


Рисунок 2 — Детали опытного образца дифференциала

В Белорусско-Российском университете был создан опытный образец дифференциала, детали которого показаны на рисунке 2. Число выступов кулачков (число периодов кривых) принималось равным пяти. Использовался упрощенный профиль кулачков для повышения технологичности изготовления. Сепаратор выполнен цельным, число пазов $n = 10$. Опытный образец был испытан в Лаборатории испытаний механических приводных систем БРУ с целью определения его КПД [10].

Дифференциал испытывался в редукторном режиме (с передаточным отношением, равным — 1). На испытательном стенде фиксировался корпус (рисунок 3), от двигателя сообщалось вращение одной из обойм, другая обойма была связана с нагружающим устройством — порошковым тормозом. КПД механизма определялся с помощью двух датчиков вращающего момента и частоты вращения, установленных последовательно в кинематической цепи стенда на входном и выходном валах. Результаты обрабатывались процессором и с помощью специального программного обеспечения выводились на дисплей в режиме реального времени. Средние значения КПД испытываемого ДПТ составили 0,73...0,77. Испытания проводились при регулируемой частоте вращения двигателя, не превышавшей $1\,000\text{ мин}^{-1}$. В качестве смазочного материала использовалась консистентная композиция на основе графита и гипоидного масла.

Разработана методика, которая позволяет проектировать ДПТ с малыми радиальными габаритами, возможностью компенсации износа рабочих поверхностей и заданным коэффициентом блокировки, который обеспечивается расчетным значением амплитуды многопериодных беговых дорожек, образуемых кулачками. Диапазон его реализуемых значений составляет

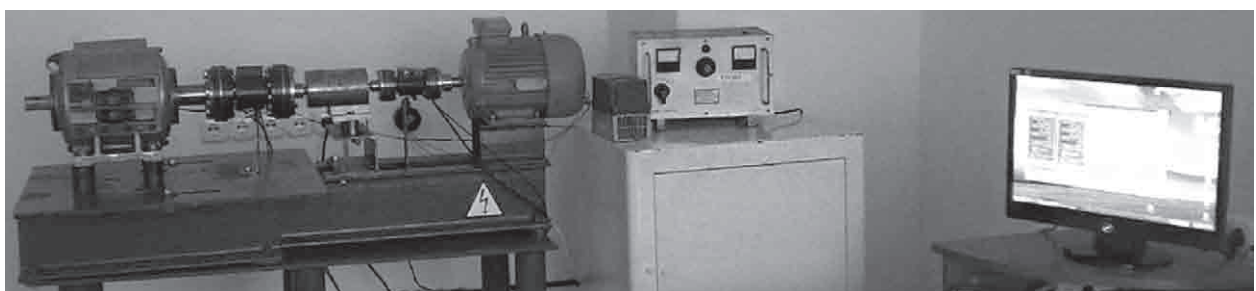


Рисунок 3 — Опытный образец дифференциала на испытательном стенде

1,2...2 (до 5, при повышении трения) для механизмов с максимальных диаметром корпуса до 150 мм.

Список литературы

1. Андреев А.Ф. Дифференциалы колесных машин / А.Ф. Андреев, В.В. Ванцевич, А.Х. Лефаров; под общ. ред. А.Х. Лефарова. — М.: Машиностроение, 1987. — 176 с.: ил.
2. Кожевников, С.Н. Механизмы: справ. / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин. — 4-е изд., перераб. и доп. / под ред. С.Н. Кожевникова. — М.: Машиностроение, 1976. — С. 230–233.
3. Игнатищев, Р.М. Синусошариковые редукторы / Р.М. Игнатищев. — Минск: Вышэйш. шк., 1983. — 107 с.: ил.
4. Лустенков, М.Е. Конструкция кулачкового дифференциала с ЭШП / М.Е. Лустенков // Грузовик. — 2004. — № 1(90). — С. 13–14.
5. Лустенков, М.Е. Межколесные кулачковые дифференциалы повышенного трения / М.Е. Лустенков // Тракторы и с.-х машины. — 2004. — № 3. — С. 16–17.
6. Лустенков, М.Е. Определение основных геометрических параметров планетарных шариковых передач / М.Е. Лустенков // Сборка в машиностроении и приборостроении. — 2008. — № 1. — С. 12–17.
7. Лустенков, М.Е. Автотракторные дифференциалы повышенного трения с промежуточными телами качения / М.Е. Лустенков // Тракторы и с.-х. машины. — 2013. — № 4. — С. 19–22.
8. Кулачковый межколесный дифференциал транспортного средства: пат. 19146 С1 Респ. Беларусь: МПК (2006.01) F 16H 48/14, В 60К 17/16 / М.Е. Лустенков; заявитель Белорусско-Российский ун-т. — № а 20121061; заявл. 16.07.12; опубл. 30.04.15 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2015. — 7 с.
9. Лустенков, М.Е. Определение КПД передач с составными промежуточными телами качения / М.Е. Лустенков // Изв. высших учебных заведений. Машиностроение. — 2014. — № 6. — С. 13–19.



Sazonov I.S., Lustenkov M.E., Prudnikov A.P.

Limited-slip cam differentials with intermediate rolling elements

The paper presents analysis of design of limited-slip differentials with intermediate rolling elements. The design of two-row symmetrical limited-slip differential is developed. The intermediate elements are compound rollers. The prototype is created and its efficiency is determined. Developed differential has small radial dimensions and ability of surfaces wear compensation.

Поступил в редакцию 17.06.2015.