

О НОВОМ ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

Мудров А.Г.

Реферат. Предложено внешнее зубчатое зацепление, у которого положительное передаточное отношение, т.е. шестерня и колесо вращаются в одном направлении. Показано развитие передачи от теоретических исследований до внедрения в дифференциалах автомобилей. Новый дифференциал имеет высокий коэффициент блокировки (до 8), что позволит увеличить проходимость автомобилей на труднопроходимых участках дорог. Он прост по конструкции и имеет малые габариты. Передача может быть использована в редукторах и коробках передач, где требуется реверсирование вращения.

Ключевые слова. передаточное отношение, зубчатая передача, внешнее зацепление колес, одностороннее вращение колес.

Введение. Наиболее распространенными типами передач в современном машиностроении являются зубчатые, которые выполняют одну и ту же функцию в разных машинах и устройствах. Они используются как для изменения частоты вращения и крутящего момента, так и для преобразования вращательного движения в поступательное.

В зависимости от относительного расположения геометрических осей ведущего и ведомого валов различают зубчатые передачи с цилиндрическими колесами, применяемые при параллельных осях валов, которые будут рассмотрены в данной статье. Цилиндрические колеса могут быть с внешним и с внутренним зацеплением. По расположению зубьев относительно образующей колеса различают прямозубые, косозубые и шевронные зубчатые колеса.

В зубчатых передачах при внешнем зацеплении получается отрицательное передаточное отношение, так как шестерня и колесо вращаются в разных направлениях, а при внутреннем зацеплении – положительное передаточное отношение, шестерня и колесо вращаются в одном направлении [1, 2].

Чтобы передать вращение в одном направлении от одного вала, расположенному параллельно другому валу, используют передачи с гибким рабочим органом: ременные или цепные. Однако эти передачи могут не удовлетворять потребителя из-за больших габаритов.

Передать вращение возможно и с помощью зубчатой передачи с внутренним зацеплением, но это ограничено передаточным числом, габаритами и сложностью изготовления и монтажа. Если использовать для этой цели передачу с внешним зацеплением, то необходимо вводить дополнительно промежуточное зубчатое колесо (паразитное), что опять же приводит к большим габаритным размерам и снижению КПД.

Напрашивается мысль, нельзя ли «невозможное сделать возможным», т.е. зубчатую передачу внешнего зацепления сделать с положительным передаточным отношением,

где бы валы вращались в одном направлении?

В полной мере это удалось осуществить гениальному ученому в области теории механизмов и машин Борису Владимировичу Шитикову (1905-1982гг.), который фундаментально раскрыл и дополнил науку о зубчатых передачах в двух направлениях.

Первое – улучшение существующих зубчатых передач. В этом направлении под его руководством исследовались следующие темы: Ю.С. Маркин (прямозубые цилиндрические колеса – кандидатская и докторская диссертации), Г.А. Матвеев (гиперболические колеса – кандидатская), А.Б. Шитиков (плоскокошесные червячные передачи – кандидатская), Ю.В. Коровин (глободные передачи – кандидатская) [3].

Второе направление – исследование совершенно нового вида зубчатых колес, которые до этого не были известны ни у нас в стране, ни за рубежом, в литературе не описаны и, естественно, не были изготовлены ни в моделях, ни в натуральных образцах. Ниже в краткой форме изложены основные сведения по этому направлению исследования.

Анализ и обсуждение результатов результатов. В результате поиска решений по увеличению нагрузочной способности винтовой цилиндрической передачи Борисом Владимировичем было предложено совершенно новое зубчатое зацепление, у которого геометрические оси колес параллельны, зацепление внешнее, зубья расположены по винтовым линиям (рисунок 1).

У предлагаемого зацепления боковая поверхность зуба одного колеса образована винтовым движением участка винтовой линии вершины зуба другого колеса. Такая форма зацепления дает возможность в косозубой передаче с параллельными валами получить при внешнем зацеплении положительное передаточное отношение, т.е. передать вращение в том же направлении без промежуточного колеса. У обоих колес зубья имеют одинаковое направление наклона.

Теоретическая боковая поверхность зуба колеса 2 образуется винтовым движением

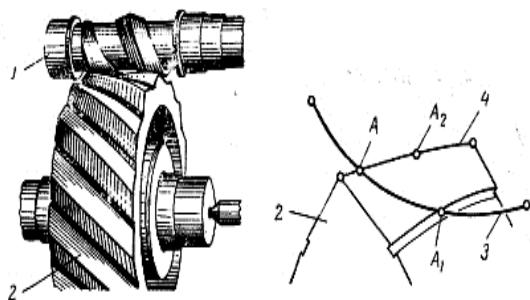


Рисунок 1 – Схема передачи с внешним зацеплением

участка AA_1 винтовой линии 3 вершины зуба колеса 1. Аналогично боковая поверхность зуба колеса 1 образуется винтовым движением участка AA_2 винтовой линии 4 вершины зуба колеса 2 [4].

У зуба 1 острая вершина зуба изнашивается (срезается) и на витке выступов зуб приобретает форму в виде узкой плоской ленты. Из способа образования боковых поверхностей зубьев следует вывод о неблагоприятных условиях контакта: зуб одного колеса своей вершиной (кромкой) контактирует с боковой поверхностью зуба другого колеса, что увеличивает и вероятность их разрушения при больших нагрузках.

Исследовал этот вид зацепления Н.А.Баязитов [5,6], аспирант Б.В.Шитикова. В его диссертации показаны возможности получения зубчатых передач внешнего зацепления как с положительным, так и с отрицательным передаточным отношением. На рисунке 2 показаны модели этих колес. Модель колес внешнего зацепления с отрицательным передаточным отношением $U = -2.5$ показана на рисунке 2а, а с положительным $U=2.5$ ($z_1=2, z_2=5$) - на рисунке 2б.

На рисунке 3 показано торцовые сечения колес другого зубчатого зацепления с передаточным отношением $U=3$. У колеса число зубьев $z_2=6$ (рисунок 3а), у шестерни число зубьев $z_1=2$ (рисунок 3б).

Испытания нового зубчатого зацепления показали, что КПД его не ниже КПД червячного глобоидного, а температура нагрева значительно ниже, нежели в глобоидном червячном редукторе.

При этом колеса нового зацепления выполнены из сталей (большое -из стали 10, малое -из стали 35), в то время как венец червячного колеса глобоидного червячного редуктора -из бронзы. Отсюда следует, что редуктор с новыми колесами может быть использован как и червячный для передачи значительной мощности, при меньшей стоимости изготовления.

На рисунке 4 показана модель зацепления с передаточным отношением $u=14$.

Дальнейшее улучшение эксплуатационных показателей двухколесных зубчатых пе-

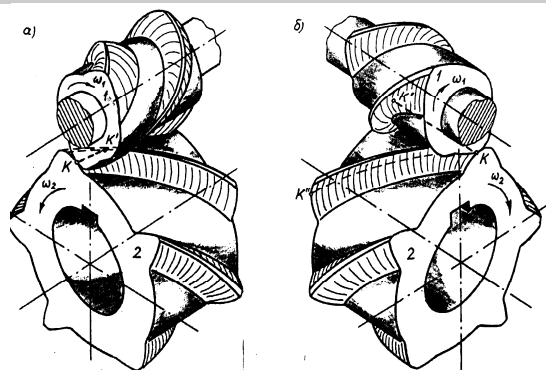


Рисунок 2- Модели зацеплений

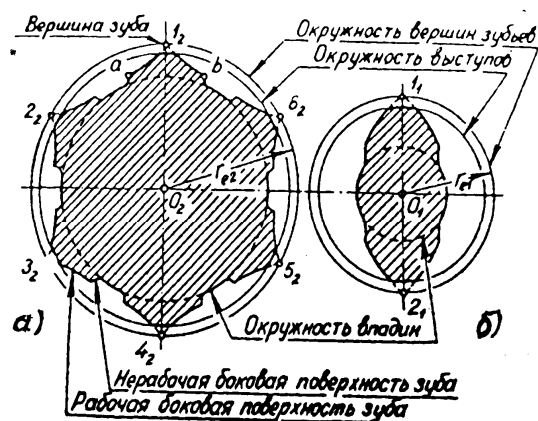


Рисунок 3 –Торцовые сечения



Рисунок 4- Модель зацепления, $u=14$

редач связано с исследованием путей локализации контакта в зацеплении, выбора типа боковой поверхности червяка, подбора материала и смазки.

В этом направлении исследования следует отметить работу второго аспиранта А.В. Сачкова, который применил новое зацепление в дифференциальном механизме автомобилей и тракторов [7].

Конструкция такого дифференциала представлена на рисунке 5. Она состоит из трех пар цилиндрических косозубых колес: z_1 и z_4 с положительным (+1) и пары эвольвентных колес z_2 и z_3 с отрицательным (-1) передаточным отношением.

Колеса z_1 и z_2 закреплены с помощью

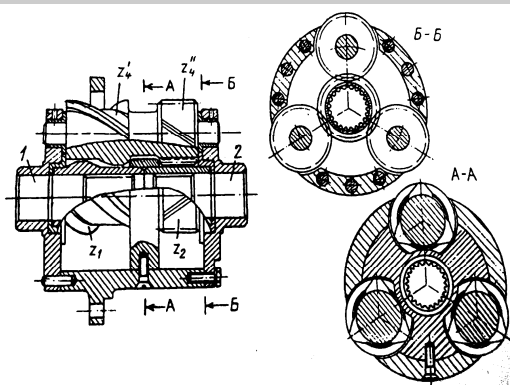


Рисунок 5 – Схема дифференциала

шлицевого соединения на полуосях 1 и 2, а колеса z_4 и z_4'' выполнены как одна деталь. На этом рисунке показаны торцовые разрезы А-А и Б-Б, поясняющие соединение пар колес.

В новом зубчатом зацеплении точка контакта перемещается от одного торца зубчатых колёс к другому, подобно точке контакта в зацеплении Новикова. После приработки, зубья контактируют уже по некоторой площадке. Таким образом, изменением профиля зубьев, удалось избежать кромочного контакта и, тем самым, несколько улучшить условия зацепления.

В работе проведен метод получения точечного касания зубьев колес, изложен вопрос геометрического построения профиля зубьев в их нормальном сечении, разработан метод обработки колес. Исследовано распределение нагрузки между звеньями в дифференциальном механизме, получены формулы для определения коэффициентов блокировки и намечены пути его повышения.

Дальнейшее исследование зубчатой передачи с внешним зацеплением и положительным передаточным отношением продолжено учеником Ю.В. Коровина Е.Г. Макаровым [8]. Он использовал передачу в дифференциале автомобиля КамАЗ [9].

Эта передача от рассмотренных выше отличается тем, что у нее эвольвентный профиль зубьев, что позволило реализовать в передаче преимущество эвольвентного зацепления. Простота заключается в том, что у нее меньшая чувствительность к изменению межосевого расстояния, проще и дешевле в изготовлении зубьев, так как используется известный зуборезный инструмент на стандартном оборудовании.

Кроме казанских ученых отметил косвенно возможность получения передач внешнего зацепления не только с отрицательным, но и с положительным передаточным отношением В.В. Панюхин [10].

Из зарубежных публикаций близких по данной тематике можно отметить статьи [11, 12,13].

Выводы. 1. Зубчатые двухзвенные передачи (шестерня-колесо) внешнего зацепления с положительным передаточным отношением относились к неизведанной и труднорешаемой проблеме, так как исторически такие передачи имели отрицательное передаточное отношение, при этом шестерня и колесо вращались в разных направлениях.

2. Под руководством профессора Б.В. Шитикова создано, исследовано и внедрено зубчатое зацепление с положительным передаточным отношением. По этому зацеплению защищены три кандидатские диссертации, две из которых связаны с внедрением передачи в дифференциалах автомобилей ГАЗ-66 и КамАЗ.

3. Передача пока еще недостаточно исследована, но уже выявлено, что по контактной прочности она сопоставима с обычной эвольвентной передачей, а по изгибной прочности зубьев она превосходит любую из известных зубчатых передач. КПД передачи не ниже КПД червячного глобоидного редуктора, температура нагрева ниже, материал шестерни и колеса из стали, поэтому не требуется дорогой бронзы для венца колеса. Передача может найти широкое применение в дифференциальных механизмах, а также в коробках передач, где требуется реверсирование вращения.

4. Необходимо отметить, что зубчатое зацепление с положительным передаточным отношением еще мало известно широким кругам технических специалистов, например, в вузовских учебниках по теории механизмов и машин нет даже кратких сведений о них, что определенно сдерживает их полномасштабное использование в технике.

5. Будем надеяться, что данная статья поможет обратить внимание других ученых, исследователей и практиков на разработки по этому зубчатому зацеплению, открыть и расширить их практическое использование и обогатить теоретические разработки.

Литература

1. Козловский М.З., Евграфов А.Н. и др. Теория механизмов и машин. М.: «Академия», 2014. 560 с.
2. Коровин Ю.В. Теория механизмов и машин. Казань: Издательство Фэн, 2003. 396 с.
3. Мудров А.Г., Яруллин М.Г. Исследования ученых-механиков Казани и сельхозакадемии. Казань: Изд-во «Фолиант», 2002. 88 с.
4. Авт. св. №163857 СССР, МПК F 06h. Б.В.Шитиков, Н.А.Баязитов / заявлено 25.11.1963, опубликовано 22.11.1964. Бюл. №13.
5. Баязитов Н.А. Косозубые колёса с новым зацеплением // Труды Казанского химико-технологического ин-та им. С.М. Кирова. 1963. Вып. 31. С. 67-75.

6. Баязитов Н.А. Некоторые вопросы теории и изготовления косозубых колёс с новым зацеплением // Труды Казанского химико-технологического ин-та им. С.М. Кирова. 1963. Вып. 31. С. 76-82.
7. Сачков А.В. Новый автомобильный дифференциальный механизм. Автореф. Дисс...канд. техн. наук. Казань, КГТУ, 1971. 21 с.
8. Макаров Е.Г. Разработка и исследование нового зубчатого механизма с эвольвентными цилиндрическими колесами: Автореф. Дисс...канд. техн. наук. Казань, КГТУ, 2000. 17 с.
9. SU 1449367 В 60 К 17/08. Коробка передач транспортных средств/ Коровин Ю.В., Галеев В.Л.. Заявлено 16.03.1987, опубл. 07.01.1989. Бюл.№1.
10. Панюхин В.В., Тимофеев Г.А. Исследование цилиндрической самотормозящейся передачи. Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Серия «Машиностроение», 2014, №3. С. 3-15.
11. Chironis N. For Self-Locking at High Efficiency. The Twinworm Gear //Product Engineering. 1960. - № 3. - P. 39-43.
12. Hofmann S., Storz M. Doppelschraubgetriebe // Sonderdruck aus Ant-riebstechnik 34, 1995. № 8.
13. Klein B. Ubertragungseigenschaften allgemeiner Zahnprofil geometrien // Konstrukteur. 1985. - 16. - № 9. - S. 63-68.

Сведения об авторе:

Мудров Александр Григорьевич – доктор технических наук, e-mail: Alexmudrov42@rambler.ru
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

ABOUT NEW GEARED ENGAGEMENT

Mudrov A.G.

Abstract. An external geared engagement is proposed, in which a positive gear ratio, i.e. gear and wheel rotate in one direction. The development of transmission from theoretical studies to implementation in car differentials is shown. The new differential has a high blocking ratio (up to 8), which will increase the patency of cars on difficult-to-reach road sections. It is simple in design and has small dimensions. Transmission can be used in gearboxes and gearboxes where rotation reversal is required.

Key words: gear ratio, gear transmission, external gearing of wheels, one-sided rotation of wheels.

References

1. Kozlovskiy M.Z., Evgrafov A.N. and others. *Teoriya mekhanizmov i mashin*. [The theory of mechanisms and machines]. M.: "Akademiya", 2014. P. 560.
2. Korovin Yu.V. *Teoriya mekhanizmov i mashin*. [Theory of mechanisms and machines]. - Kazan: Izdatelstvo Fen, 2003. P. 396.
3. Mudrov A.G., Yarullin M.G. *Issledovaniya uchenykh-mekhanikov Kazani i selkhozakademii*. [Studies of mechanical scientists of Kazan and Agricultural Academy]. Kazan, Izd-vo "Foliant", 2002. P. 88.
4. *Avt. sv. №163857 SSSR, MPK F 06h. B.V.Shitikov, N.A.Bayazitov*. (Author's St. № 163857 USSR, the IPC F 06h. B.V. Shitikov, N.A. Bayazitov). Applied November 25, 1963, published November 22, 1964. Bulletin №13/
5. Bayazitov N.A. *Kosozubye kolosa s novym zatsepleniem*. // *Trudy Kazanskogo khimiko-tekhnologicheskogo in-ta im. S.M. Kirova*. [Helical gears with a new gear. // Proceedings of Kazan Chemical-Technological Institute named after S.M. Kirov]. 1963. - Issue 31. P. 67-75.
6. Bayazitov N.A. *Nekotorye voprosy teorii i izgotovleniya kosozubykh kolos s novym zatsepleniem*. // *Trudy Kazanskogo khimiko-tekhnologicheskogo in-ta im. S.M. Kirova*. [Some questions of the theory and manufacturing of helical gears with a new gear. // Proceedings of Kazan Chemical-Technological Institute named after S.M. Kirov]. 1963. - Issue 31. - P. 76-82.
7. Sachkov A.V. *Novyy avtomobilnyy differentsialnyy mekhanizm. Avtoref. Diss...kand. tekhn. nauk*. (A new automobile differential mechanism: Author's abstract of dissertation for a degree of Ph.D. of Technics). Kazan, KGTU, 1971. P. 21.
8. Makarov E.G. *Razrabotka i issledovanie novogo zubchatogo mekhanizma s evolventnymi tsilindricheskimi kolesami: Avtoref. Diss...kand. tekhn. nauk*. (Development and investigation of a new gear mechanism with involute cylindrical wheels: Author's abstract of dissertation for a degree of Ph.D. of Technics). Kazan, KGTU, 2000. P. 17.
9. SU 1449367 В 60 К 17/08. *Korobka peredach transportnykh sredstv*. (SU 1449367 В 60 К 17/08. Gearbox of vehicles. / Korovin Yu.V., Galeev V.L. Declared 16.03.1987, published 01/07/1989. Bulletin №1).
10. Panyukhin V.V., Timofeev G.A. Investigation of cylindrical self-braking transmission. [Issledovanie tsilindricheskoy samotormozyasheysya peredachi]. *Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. Seriya "Mashinostroenie". The Herald of MSTU named after N.E. Bauman. Series "Mechanical engineering"*. - 2014, №3. P. 3-15.
11. Chironis N. For Self-Locking at High Efficiency. The Twinworm Gear //Product Engineering. 1960. - № 3. - P. 39 -43.
12. Hofmann S., Storz M. Doppelschraubgetriebe // Sonderdruck aus Ant-riebstechnik 34, 1995. №8.
13. Klein B. Ubertragungseigenschaften allgemeiner Zahnprofil geometrien // Konstrukteur. 1985. - 16. - № 9. - S. 63-68.

Authors:

Mudrov Aleksandr Grigorievich - Doctor of Technical Sciences, e-mail: Alexmudrov42@rambler.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.