

УДК: 62-233.3/9

## Синтез износостойкой прямозубой конической передачи

М.А. Халтурин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия»,  
ул. Марковцева, 5, г. Кемерово 650056, Россия

Поступила в редакцию 02.02.2022.

После доработки 20.06.2022.

Принята к публикации 21.06.2022.

Приведён способ проектирования конической зубчатой передачи, позволяющий снизить коэффициенты относительного скольжения в зацеплении. В качестве дополнительного критерия оценивания используются коэффициенты удельного давления. Приведена математическая связь между используемыми критериями. Отличительной особенностью предлагаемой методики является возможность расчёта передачи по произвольным значениям коэффициентов смещения для шестерни и колеса. При этом в зацеплении сохраняется величина радиального зазора, равная 0,25 от величины модуля. При выполнении расчётов используется программа *Bevel gears x64*, написанная в рамках проводимого исследования. В качестве примера показано, что передача, имеющая числа зубьев шестерни  $z_1 = 16$  и колеса  $z_2 = 20$ , с коэффициентами смещения шестерни  $x_1 = 0,7$  и колеса  $x_2 = 0,7$ , обладает сравнительно низкими и достаточно близкими значениями коэффициентов относительного скольжения зубьев  $|\lambda_{1\max}| = 1,213$  и  $|\lambda_{2\max}| = 1,214$  и удельного давления  $\vartheta_1 = 0,45$  и  $\vartheta_2 = 0,347$ . В аналогичной передаче ( $z_1 = 16$ ,  $z_2 = 20$ ), спроектированной по стандартной методике ( $x_1 = 0,17$  и  $x_2 = -0,17$ ), значения исследуемых показателей составили  $|\lambda_{1\max}| = 3,165$ ,  $|\lambda_{2\max}| = 2,512$ ,  $\vartheta_1 = 0,942$  и  $\vartheta_2 = 0,572$ . Снижение коэффициентов  $|\lambda_{1\max}|$  с 3,165 до 1,213 и  $|\lambda_{2\max}|$  с 2,512 до 1,214 позволяет пропорционально (в 2,6 и 2,1 раза, соответственно) снизить проскальзывание профилей ножек зубьев шестерни и колеса. Приведенные результаты показывают существенное повышение износостойкости проектируемой передачи.

**Ключевые слова:** зубчатая коническая передача, сферическая эвольвента, коэффициенты смещения, коэффициенты относительного скольжения, коэффициенты удельного давления, приведенный радиус кривизны, контактные напряжения.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-274-281

**Адрес для переписки:**

М.А. Халтурин  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия»,  
ул. Марковцева, 5, г. Кемерово 650056, Россия  
e-mail: l-air@internet.ru

**Address for correspondence:**

M.A. Khalturin  
Kuzbass State Agricultural Academy,  
Markovtseva Street, 5, Kemerovo 650056, Russia  
e-mail: l-air@internet.ru

**Для цитирования:**

М.А. Халтурин.  
Синтез износостойкой прямозубой конической передачи.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 3. – С. 274–281.  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-274-281

**For citation:**

M.A. Khalturin.  
[Synthesizing a Wear-Resistant Straight Teeth Bevel Gears].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 3, pp. 274–281 (in Russian).  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-274-281

# Synthesizing a Wear-Resistant Straight Teeth Bevel Gears

M.A. Khalturin

Kuzbass State Agricultural Academy,  
Markovtseva Street, 5, Kemerovo 650056, Russia

Received 02.02.2022.

Revised 20.06.2022.

Accepted 21.06.2022.

## Abstract

A method of designing the bevel gears is given, allowing to reduce the slip ratio. Specific pressure coefficients are used as an additional evaluation criterion. The mathematical relationship between the criteria used is given. A distinguishing feature of the proposed methodology is the possibility of calculation the gears using arbitrary coefficient of profile shift for each of the gears. In doing so, the value of the radial gap equal to 0.25 of the module is retained in the gears. The Bevel gears x64 program is used for calculations. This program was written as part of the ongoing research. As an example, it is shown that a gear with the number of small gear teeth  $z_1 = 16$  and the number of large gear teeth  $z_2 = 20$ , with coefficient of profile shift for small gear  $x_1 = 0.7$  and for large gear  $x_2 = 0.7$ , has relatively low and fairly close values of the slip ratio  $|\lambda_{1\max}| = 1.213$  and  $|\lambda_{2\max}| = 1.214$  as well as specific pressure ratio  $\vartheta_1 = 0.45$  и  $\vartheta_2 = 0.347$ . In a similar gears ( $z_1 = 16$ ,  $z_2 = 20$ ), designed according to the standard methodology ( $x_1 = 0.17$  и  $x_2 = -0.17$ ), the values of the studied indicators were  $|\lambda_{1\max}| = 3.165$ ,  $|\lambda_{2\max}| = 2.512$ ,  $\vartheta_1 = 0.942$  and  $\vartheta_2 = 0.572$ . Reducing the slip ratios  $|\lambda_{1\max}|$  from 3.165 to 1.213 and  $|\lambda_{2\max}|$  from 2.512 to 1.214 will reduce the slippage of tooth dedendum on the small and large gears in proportion (in 2.6 and 2.1 times, respectively). The results show the significant increase of wear-resistance of the designed gears.

**Keywords:** bevel gears, spherical evolvent, coefficient of profile shift, slip ratio, specific pressure ratio, normalized radius of curvature, contact stress.

**DOI:**10.32864/0202-4977-2022-43-3-274-281

---

### Адрес для переписки:

М.А. Халтурин  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Кузбасская государственная  
сельскохозяйственная академия»,  
ул. Марковцева, 5, г. Кемерово 650056, Россия  
e-mail: l-air@internet.ru

### Address for correspondence:

M.A. Khalturin  
Kuzbass State Agricultural Academy,  
Markovtseva Street, 5, Kemerovo 650056, Russia  
e-mail: l-air@internet.ru

---

### Для цитирования:

М.А. Халтурин.  
Синтез износостойкой прямозубой конической передачи.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 3. – С. 274–281.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-3-274-281

### For citation:

M.A. Khalturin.  
[Synthesizing a Wear-Resistant Straight Teeth Bevel Gears].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 3, pp. 274–281 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-3-274-281

## Список использованных источников

1. **Acinapura A., Fragomeni G., Greco P.F., Mundo D., Carbone G., and Danieli G.** Design and Prototyping of Miniaturized Straight Bevel Gears for Biomedical Applications // *Machines*. — 2019 (7), no. 38. DOI:10.3390/machines7020038
2. **Hu J.-S., Wu C.-H., Tsai Y.-J., and Kuo C.-H.** Study on the Characteristics of a Homemade Differential-Velocity-Type Compliant Joint for Robotic Manipulators // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2015 (7), no. 9. DOI: 10.1177/1687814015603668
3. **Артоболевский И.И.** Теория механизмов и машин. — М.: Альянс. — 2011
4. **Бружас В.В., Лопатин Б.А., Плотникова С.В.** Разработка твердотельных моделей эвольвентно-конических зубчатых колес // *Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова*. — 2017 (20), № 2, 15—18. DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-15-18
5. **Bodzás S.** Tooth Contact Analysis of Straight Bevel Gears in the Function of the Modification of Number of Teeth of the Driving Gear // *Australian Journal of Mechanical Engineering*. — 2019. DOI: 10.1080/14484846.2019.1654964
6. **Fuentes-Aznar A., Gonzalez-Perez I., and Pasapula H.K.** Computerized Design of Straight Bevel Gears with Optimized Profiles for Forging, Molding, or 3D Printing // *Thermal Processing*. Режим доступа: <https://thermalprocessing.com/computerized-design-of-straight-bevel-gears-with-optimized-profiles-for-forging-molding-or-3d-printing> (дата обращения 10.01.2022)
7. **İrsel G.** Effects of Modification on the Strength-Weight Ratio of Standard Bevel Gears // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. — 2021. Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15397734.2021.1960562> (дата обращения 10.01.2022)
8. **Pisula J. and Plocica M.** Guidelines for the Development of the Quality of Aircraft Bevel Gears // *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. — 2015 (87), no. 2. DOI: DOI:10.1108/AEAT-07-2014-0105
9. **Волков А.Э., Лагутин С.А., Бирюков С.С.** Программный комплекс для расчета прямозубых конических передач с локализованным контактом // *Интеллектуальные системы в производстве*. — 2020 (18), № 3, 15—18. DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-77-84
10. **Chen M., Xiong X., and Zhuang W.** Design and Simulation of Meshing Performance of Modified Straight Bevel Gears // *Metals*. — 2021 (11), no. 33. <https://dx.doi.org/10.3390/met11010033>
11. **Jiang J., Liu Z., and Liu H.** Design and Analysis for Straight Bevel Gears with Easy-off Flank Modification Based on Minimal Wear // *Hsi-An Chiao Tung Ta Hsueh*. — 2020 (54), no. 6. DOI: 10.7652/xjtuxb202006013

12. **Халтурин М.А.** Определение качественных показателей конической зубчатой передачи // *Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. (г. Кемерово, 8—9 декабря 2021 г.)*; ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА. — Кемерово. — 2021, 197—201. <http://ksai.ru/upload/files/sborniki>
13. **Теория механизмов и машин** / ред. Г.А. Тимофеев. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2009

## References

1. **Acinapura A., Fragomeni G., Greco P.F., Mundo D., Carbone G., and Danieli G.** Design and Prototyping of Miniaturized Straight Bevel Gears for Biomedical Applications // *Machines*. — 2019 (7), no. 38. DOI:10.3390/machines7020038
2. **Hu J.-S., Wu C.-H., Tsai Y.-J., and Kuo C.-H.** Study on the Characteristics of a Homemade Differential-Velocity-Type Compliant Joint for Robotic Manipulators // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2015 (7), no. 9. DOI: 10.1177/1687814015603668
3. **Artobolevskij I.I.** Teoriya mekhanizmov i mashin. — М.: Al'yans. — 2011 (in Russian)
4. **Bruzhas V.V., Lopatin B.A., Plotnikova S.V.** Razrabotka tverdotel'nyh modelej evol'ventno-konicheskikh zubchatyh koles // *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. — 2017 (20), № 2, 15—18. DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-15-18 (in Russian)
5. **Bodzás S.** Tooth Contact Analysis of Straight Bevel Gears in the Function of the Modification of Number of Teeth of the Driving Gear // *Australian Journal of Mechanical Engineering*. — 2019. DOI: 10.1080/14484846.2019.1654964
6. **Fuentes-Aznar A., Gonzalez-Perez I., and Pasapula H.K.** Computerized Design of Straight Bevel Gears with Optimized Profiles for Forging, Molding, or 3D Printing // *Thermal Processing*. Режим доступа: <https://thermalprocessing.com/computerized-design-of-straight-bevel-gears-with-optimized-profiles-for-forging-molding-or-3d-printing> (Accessed 10.01.2022)
7. **İrsel G.** Effects of Modification on the Strength-Weight Ratio of Standard Bevel Gears // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. — 2021. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15397734.2021.1960562> (Accessed 10.01.2022)
8. **Pisula J. and Plocica M.** Guidelines for the Development of the Quality of Aircraft Bevel Gears // *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. — 2015 (87), no. 2. DOI: DOI:10.1108/AEAT-07-2014-0105
9. **Volkov A.E., Lagutin S.A., Biryukov S.S.** Programmnyj kompleks dlya rascheta pryamozubyh konicheskikh peredach s lokalizovannym kontaktom // *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. —

- 2020 (18), № 3, 15—18. DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-77-84 (in Russian)
10. **Chen M., Xiong X., and Zhuang W.** Design and Simulation of Meshing Performance of Modified Straight Bevel Gears // *Metals*. — 2021 (11), no. 33. <https://dx.doi.org/10.3390/met11010033>
  11. **Jiang J., Liu Z., and Liu H.** Design and Analysis for Straight Bevel Gears with Easy-off Flank Modification Based on Minimal Wear // *Hsi-An Chiao Tung Ta Hsueh*. — 2020 (54), no. 6. DOI: 10.7652/xjtuxb202006013
  12. **Khalturin M.A.** Opredelenie kachestvennyh pokazatelej konicheskoj zubchatoj peredachi // *Sovremennye tendencii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva v mirovoj ekonomike: materialy XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konf. (Kemerovo, 8—9 dec. 2021.)*; FGBOU VO Kuzbasskaya GSKHA. — Kemerovo. — 2021, 197—201. <http://ksai.ru/upload/files/sborniki> (in Russian)
  13. **Teoriya mekhanizmov i mashin** / red. G.A. Timofeev. — M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana. — 2009 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
*Full text of articles can be purchased from the editorial office.*  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)