

УДК 621.833.6

СРАВНЕНИЕ САМОТОРМОЗЯЩИХСЯ РЕЕЧНЫХ И РЕЕЧНЫХ ИНВЕРСНЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ

Г.А. Тимофеев, Д.В. Сашенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: ltfo@rambler.com

Представлены результаты исследований, посвященных синтезу новой разновидности реечных передач — инверсных реечных передач. Описаны конструкции реечной и реечной инверсной зубчатых передач. Рассмотрены силовые схемы таких передач в торцовом сечении на тяговом режиме прямого и обратного хода. Найдены реакции на режиме прямого и обратного хода в зацеплении инверсной реечной передачи и проведены сравнения с реакциями в обычных реечных передачах.

Ключевые слова: реечное зубчатое зацепление, реечное инверсное зацепление, рейка, шестерня, силы трения, самоторможение, прямой ход; обратный ход, тяговый режим, режим оттормаживания.

COMPARISON OF SELF-BRAKING RACK-AND-PINION GEARINGS AND RACK-AND-PINION INVERSE ENGAGEMENTS

G.A. Timofeev, D.V. Sashchenko

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia Federation
e-mail: ltfo@rambler.com

Results of investigations devoted to the synthesis of a new diversity of rack-and-pinion gearings — rack-and-pinion inverse engagements — are presented. Designs of rack-and-pinion gearings and rack-and-pinion inverse engagements are described. Force diagrams of these transmissions are considered in the end section with the traction mode of the forward and reverse movement. The responses are found during the mode of the forward and reverse movement in the engagement of the rack-and-pinion inverse transmission and compared with responses in typical rack-and-pinion transmissions.

Keywords: rack-and-pinion gearing, rack-and-pinion inverse engagement, rack, pinion, forces of friction, self-braking, forward movement, reverse movement, traction mode, brake release.

Реечная цилиндрическая зубчатая передача — это цилиндрическая зубчатая передача, одним из звеньев которой является зубчатая (прямозубая или косозубая) рейка. Рейка 2 (рис. 1, 2) со стойкой образуют поступательную пару, а зубчатое колесо 1 — вращательную, поэтому реечные передачи применяют для преобразования вращательного движения шестерни в поступательное движение рейки и наоборот. Передача движения от рейки к зубчатому колесу в самотормозящихся реечных зубчатых передачах невозможна [1]. Характерной особенностью зацепления таких передач является то, что полюс зацепления

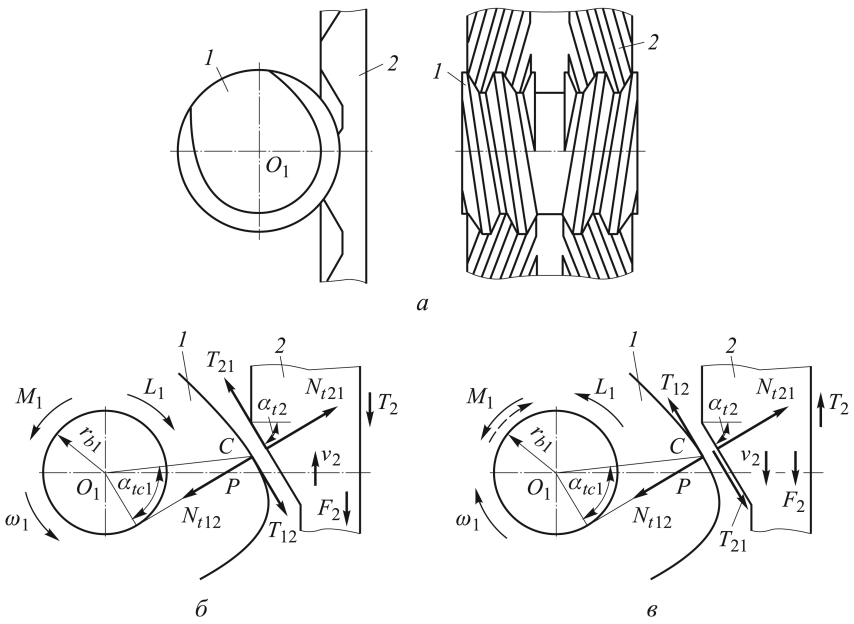


Рис. 1. Реечная передача:

a – конструктивная схема; *б* – силовая схема прямого хода; *в* – силовая схема обратного хода

и само зацепление находятся по одну сторону от оси O_1 шестерни (рис. 1, *б*, *в*), т.е. как в обычном внешнем зацеплении [2–5].

Реечное инверсное зацепление (рис. 2) представляет собой частный случай инверсного внешнего зацепления при бесконечно большом радиусе колеса [2].

Скорость перемещения рейки v_2 соответствует окружной скорости шестерни v_{w1} на начальной окружности:

$$v_2 = v_{w1} = \omega_1 r_{w1}.$$

В реечном косозубом зацеплении, в котором шестерня нарезана без смещения, радиусы r_{w1} и r_1 начальной и делительной окружностей шестерни совпадают, откуда

$$r_{w1} = r_1 = \frac{mz_1}{2 \cos \beta}.$$

Передаточная функция реечных инверсных передач определяется с помощью аналитических зависимостей, аналогичных зависимостям для обычных реечных передач [1, 3, 5].

$$\frac{v_2}{\omega_1} = r_{w1} = r_1 = \frac{mz_1}{2 \cos \beta}.$$

При обратном ходе передаточная функция

$$\frac{\omega_1}{v_2} = \frac{2 \cos \beta}{mz_1} = \frac{2\pi}{p_x z_1 \operatorname{tg} \beta_{y1}},$$

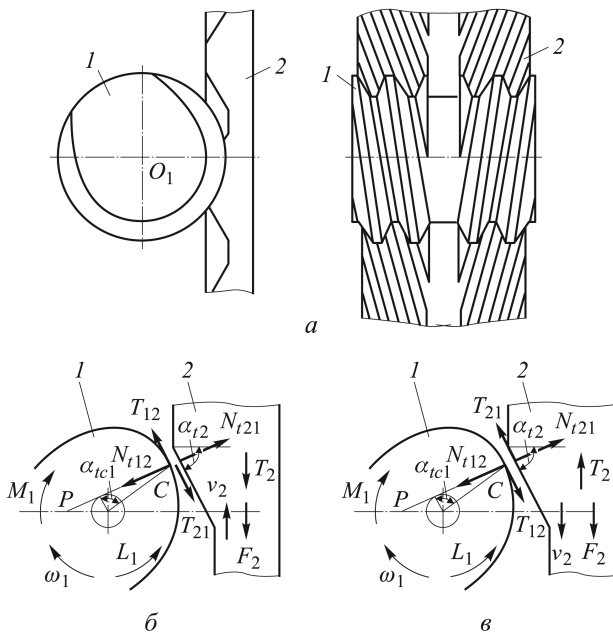


Рис. 2. Реечная инверсная передача:

a — конструктивная схема; *б* — силовая схема прямого хода; *в* — силовая схема обратного хода

где p_x — осевой шаг шестерни с винтовыми зубьями; β_{y1} — угол наклона линии зуба шестерни на цилиндре произвольного диаметра.

Исследуем тормозящие свойства реечных инверсных передач и сравним их со свойствами обычных реечных передач. Конструктивная схема косозубой реечной передачи и силовые схемы в торцовом сечении на тяговом режиме для прямого и обратного хода показаны на рис. 1.

На рис. 2 показаны конструктивная схема реечной инверсной передачи и силовые схемы в торцовом сечении для прямого и обратного ходов. Зазоры в зацеплениях на рис. 1 и 2 показаны условно.

Из сопоставления рис. 2 и 1 следует, что силовая схема прямого хода самотормозящихся передач на рис. 2, *б* аналогична схеме обратного хода обычных реечных передач на рис. 1, *в*, а силовая схема обратного хода инверсных передач на рис. 2, *в* аналогична схеме прямого хода обычных реечных передач на рис. 1, *б*. Поэтому нормальные реакции N_{12} и N_{21} на тяговом режиме прямого хода для инверсных реечных передач могут быть определены по формулам [1]

$$N = N_{21} = N_{12} = \frac{F_2 + T_2}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} - f_{21} \sin \alpha_{t2}}$$

— для заплюзного зацепления;

$$N = N_{21} = N_{12} = \frac{F_2 + T_2}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} + f_{21} \sin \alpha_{t2}}$$

— для доплюзного зацепления.

При обратном ходе и на режиме оттормаживания — по формулам [1]:

$$N = N_{21} = N_{12} = \frac{F_2 + T_2}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} + f_{12} \sin \alpha_{t2}}$$

— для заплюзного зацепления;

$$N = N_{21} = N_{12} = \frac{F_2 + T_2}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} - f_{12} \sin \alpha_{t2}}$$

— для доплюзного зацепления.

Радиальные R_{21} , R_{12} и окружные v_{12} и v_{21} реакции на тяговом режиме прямого хода определяются как

$$R_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \sin \alpha_{ty1} + f_{12} \cos \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} - f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$R_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \sin \alpha_{ty1} - f_{12} \cos \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} + f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$V_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \cos \alpha_{ty1} - f_{12} \sin \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} - f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$V_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \cos \alpha_{ty1} + f_{12} \sin \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} + f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$R_{21} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \tan \alpha_{t2} + f_{12}}{\cos \beta_b - f_{21} \tan \alpha_{t2}};$$

$$R_{21} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \tan \alpha_{t2} - f_{21}}{\cos \beta_b + f_{21} \tan \alpha_{t2}};$$

$$V_{21} = F_2;$$

а при обратном ходе и на режиме оттормаживания следующим образом:

$$R_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \sin \alpha_{ty1} - f_{12} \cos \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} + f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$R_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \sin \alpha_{ty1} + f_{12} \cos \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} - f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$V_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \cos \alpha_{ty1} - f_{12} \sin \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} - f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$V_{12} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \cos \alpha_{ty1} + f_{12} \sin \alpha_{ty1}}{\cos \beta_b \cos \alpha_{t2} + f_{21} \sin \alpha_{t2}};$$

$$R_{21} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \tan \alpha_{t2} - f_{12}}{\cos \beta_b + f_{12} \tan \alpha_{t2}};$$

$$R_{21} = (F_2 + T_2) \frac{\cos \beta_b \tan \alpha_{t2} + f_{21}}{\cos \beta_b - f_{21} \tan \alpha_{t2}};$$

$$V_{21} = F_2.$$

Следовательно, в инверсных передачах на тяговом режиме прямого хода нормальные силы N_{12} и N_{21} при одном и том же значении внешней нагрузки возрастают в k раз по сравнению с тяговым режимом обратного хода (в несамотормозящихся передачах) или на режиме оттормаживания (в самотормозящихся передачах). Кратность k возрастания нормальных сил определяется формулой

$$k = \frac{\cos \beta_b + f_{21} \operatorname{tg} \alpha_{t2}}{\cos \beta_b - f_{21} \operatorname{tg} \alpha_{t2}}.$$

Параметры торможения инверсных реечных передач совпадают с аналогичными параметрами инверсных цилиндрических передач [2], поэтому все выводы, сделанные относительно тормозящих свойств цилиндрических инверсных передач, в полной мере справедливы и для инверсных реечных передач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев Г.А., Сащенко Д.В., Самойлова М.В. Реечные самотормозящиеся передачи // Изв. вузов. Машиностроение. 2013. № 4. С. 17–23.
2. Тимофеев Г.А., Сащенко Д.В. Геометрия эвольвентных самотормозящихся инверсных передач внешнего зацепления // Изв. вузов. Машиностроение. 2012. № 11. С. 29–34.
3. Зубчатые передачи: Справочник / Е.Г. Гинзбург, Н.Ф. Голованов, Н.Б. Фирун, Н.Т. Халебский. Л.: Машиностроение, 1980. 416 с.
4. Тимофеев Г.А., Сащенко Д.В. Самотормозящиеся эвольвентные передачи для подъемно-транспортных машин // Приводная техника. 2010. № 11. С. 9–11.
5. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления: Расчет геометрии / И.А. Болотовский, Б.И. Гурьев, В.Э. Смирнов, Б.И. Шендерей. М.: Машиностроение, 1974. 160 с.

REFERENCES

- [1] Timofeyev G.A., Sashchenko D.V., Samoilova M.V. Rack and Pinion Self-locking Gears. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Mashinost.* [Proc. Univ., Mech. Eng.], 2013, no. 4, pp. 17–23.
- [2] Timofeyev G.A., Sashchenko D.V. Geometry of involute self-locking inverse gears with external gearing. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Mashinost.* [Proc. Univ., Mech. Eng.], 2012, no. 11, pp. 29–34.
- [3] Ginzburg E.G., Golovanov N.F., Firun N.B., Khalebskii N.T. *Zubchatye peredachi: Spravochnik* [Gears: A Guide]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1980. 416 p.
- [4] Timofeyev G.A., Sashchenko D.V. Self-locking involute gears for handling machinery. *Privodnaya tekhnika* [Drive Technique], 2010, no. 11, pp. 9–11.
- [5] Bolotovskiy I.A., Gur'ev B.I., Smirnov V.E., Shenderey B.I. *Tsilindricheskie evol'ventnyye zubchatye peredachi vneshnego zatsepleniya: Raschet geometrii* [Spur involute gears with external gearing: Geometry calculation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974. 160 p.

Статья поступила в редакцию 22.03.2013

Геннадий Алексеевич Тимофеев — д-р техн. наук, заведующий кафедрой “Теория механизмов и машин” МГТУ им. Н.Э. Баумана, заслуженный работник Высшей школы РФ, лауреат премии правительства РФ в области образования за 2008 г. Автор более 210 научных и методических работ в области проектирования зубчатых, планетарных и волновых механизмов приводов машин и приборов, автоматизированного синтеза и анализа кулачковых и рычажных механизмов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

G.A. Timofeev — Dr. Sci. (Eng.), head of “Theory of Mechanisms and Machines” department of the Bauman Moscow State Technical University. Honored worker of RF Higher School, winner of RF Government Prize in Education for 2008. Author of more than 210 publications in the field of design of gear, planetary and wave mechanisms of drives of machines and devices, automated synthesis and analysis of cam and lever mechanisms.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Денис Владимирович Сащенко — старший преподаватель кафедры “Теория механизмов и машин” МГТУ им. Н.Э. Баумана.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

D.V. Sashchenko — senior teacher of “Theory of Mechanisms and Machines” department of the Bauman Moscow State Technical University.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.