

УДК 621.833.389
УЛУЧШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАЦЕПЛЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ ЧЕРВЯЧНЫХ
ПЕРЕДАЧ КАЧЕНИЯ

М. Ф. ПАШКЕВИЧ, С. Н. РОГАЧЕВСКИЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилёв, Беларусь

Из-за значительного диапазона передаточных чисел (8...80), высокой кинематической точности, бесшумности, компактности, компоновочных и монтажных преимуществ в машиностроении широко применяются червячные передачи (с малой металлоемкостью) [1, 2]. Однако эти достоинства проявляются в полной мере лишь при соблюдении требуемой точности зацепления, определяемой не только высоким качеством деталей червячной передачи, но и величинами погрешностей их взаимного расположения, которые регламентированы более жестко, чем для цилиндрических и конических зубчатых передач [3, 4]. Основным недостатком червячных передач является низкий КПД, обусловленный геометрией и кинематикой зацепления, из-за невозможности обеспечения гарантированного жидкостного трения в контакте витков червяка с зубьями колеса. Причинами этого недостатка являются скольжение рабочей поверхности червяка по зубьям колеса и неблагоприятное направление линий контакта относительно вектора скорости скольжения [1, 2]. При скольжении появляется дополнительное сопротивление, вызванное трением, и, как следствие этого, происходит повышенный износ рабочих поверхностей звеньев передачи. Касательные усилия на этих поверхностях оказывают непосредственное влияние на прочность поверхностных слоёв витков червяка и зубьев червячного колеса [5]. Для преодоления трения (компенсации энергетических потерь) необходимо повышать исходную передаваемую мощность, и, в связи с этим, приходится упрочнять и утяжелять червячные передачи.

С целью устранения недостатков традиционных червячных передач в Белорусско-Российском университете разработаны и исследуются червячные передачи качения [6–11]. К ним относятся пружинно-пальцевые и винтовые пальцевые передачи [6, 7], в которых отсутствует причина, вызывающая значительные потери, так как в зацеплениях скольжение заменено качением, что приводит к повышению КПД до 96 %.

Червячные передачи качения, независимо от конструктивного исполнения, обладают общим признаком: наличием промежуточных тел (пальцев или наружных колец подшипников качения), сопряженных с червяком (пружиной или винтом) и имеющих возможность свободного перекатывания. Перекатывание цилиндрических промежуточных тел по рабочим по-

верхностям винта или пружины сопровождается геометрическим скольжением (трением), которое вызвано неодинаковым изменением скорости по длине контакта указанных тел и рабочих винтовых поверхностей. Установлено [9], что в зацеплениях винтовой пальцевой передачи потеря передаваемой механической энергии происходит в основном из-за геометрического трения и может достигнуть 5 %, а в зацеплениях пружинно-пальцевой передачи она незначительная (не более 1 %).

С целью исключения потерь энергии на геометрическое трение в зацеплениях винтовой пальцевой передачи целесообразно использовать тела качения с конической рабочей поверхностью, при этом сечение витка винта осевой плоскостью должно иметь контур трапеции с углом профиля α . Условием отсутствия геометрического трения в зацеплении является расположение вершины конуса рабочей поверхности тела качения на оси вращения винта, которое приводит к равенству скоростей точек их касания на контактной линии KK (см. рис. 1–3). На рис. 1 приведены проекции на осевую плоскость червяка смежных витков этого червяка 1 и конического пальца 2, контактирующего по линии KK с рабочей поверхностью витка червяка. На рис. 2 представлен разрез червяка 1 и пальца 2 плоскостью А-А (рис. 1), нормальной к направлению витка червяка. На рис. 3 показан разрез червяка 1 и пальца 2 плоскостью Б-Б (рис. 2).

Из рассмотрения данных иллюстраций следует, что для точки $П$, принадлежащей делительной окружности червяка и средней окружности конической рабочей поверхности пальца $V_1 = V_2$. При этом

$$V_1 = R_1 \cdot \omega_1 / \cos \gamma ; \quad (1)$$

$$V_2 = R_2 \cdot \omega_2 , \quad (2)$$

где ω_1 и ω_2 – угловые скорости соответственно червяка и пальца; γ – угол подъема винтовой линии червяка на делительном цилиндре

$$\gamma = \arctg (p / (\pi \cdot d_1)).$$

Приравняв правые части равенств (1) и (2), получим $R_1 \cdot \omega_1 / \cos \gamma = R_2 \cdot \omega_2$, откуда следует, что передаточное отношение равно:

$$i = \omega_1 / \omega_2 = R_2 \cdot \cos \gamma / R_1 . \quad (3)$$

Можно показать (см. рис. 3), что $R_2 = R_1 \cdot \tg \alpha$. Следовательно, соотношение (3) принимает вид

$$i = \tg \alpha \cdot \cos \gamma . \quad (4)$$

За один оборот червяка точка $П$, принадлежащая червяку, пройдет путь, равный длине одного витка винтовой линии на делительном цилиндре, то есть $S_1 = \pi \cdot d_1 / \cos \gamma$.

Эта же точка $П$, принадлежащая пальцу, за один оборот этого пальца пройдет путь, равный периметру средней окружности пальца диаметром d_2 , то есть $S_2 = \pi \cdot d_2$.

Передаточное отношение можно выразить частным S_1/S_2 , то есть

$$i = S_1/S_2 = \pi \cdot d_1 / (\cos \gamma \cdot \pi \cdot d_2) = d_1 / (d_2 \cdot \cos \gamma).$$

Из рис. 3 следует, что $d_2 = d_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$, следовательно, $i = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \gamma$.

В приведенных соотношениях $d_2 = (d_{\min} + d_{\max})/2$. При этом высота рабочей части усеченного конуса $h = (d_{\max} - d_{\min}) / (2 \cdot \operatorname{tg} \alpha)$.

Нетрудно показать, что в любой другой точке контактной линии KK при среднем диаметре рабочей конической поверхности пальцев, равном $d_2 = d_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$, скорости любой точки, принадлежащей червяку, и этой же точки, принадлежащей пальцу, одинаковы. Следовательно, при условии $d_2 = d_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$ геометрическое скольжение отсутствует.

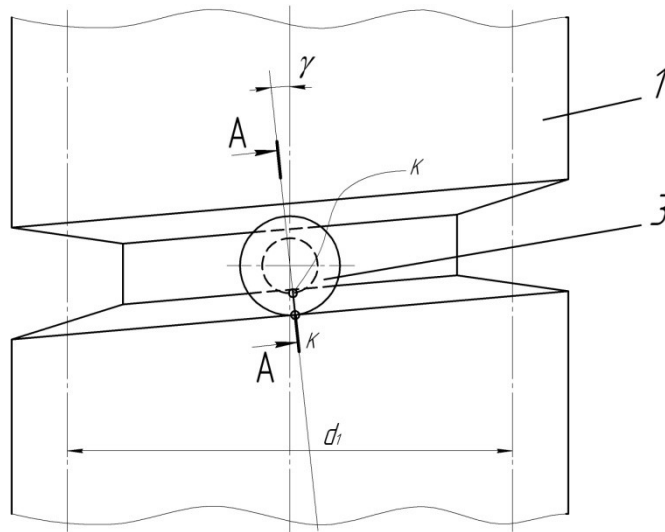


Рис. 1. Проекция боковых поверхностей смежных витков червяка и пальца на осевую плоскость червяка

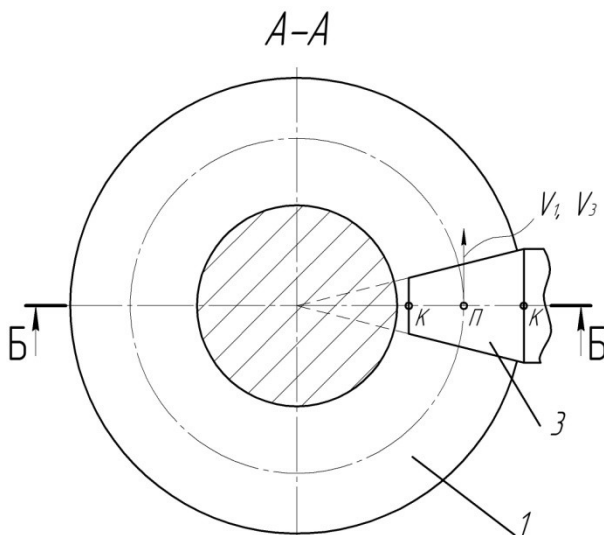


Рис. 2. Разрез червяка и пальца плоскостью, нормальной к направлению витка червяка

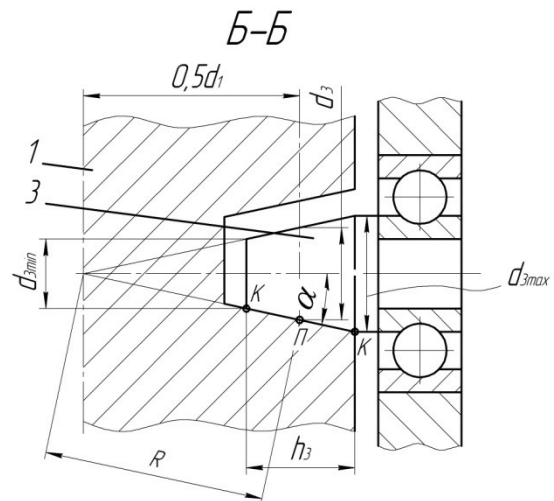


Рис. 3. Разрез червяка и пальца осевой плоскостью червяка

Другим направлением улучшения параметров зацеплений звеньев червячных передач качения является использование продольной и профильной модификации витков червяка. Эти конструктивные и технологические мероприятия позволяют повысить кинематическую точность и нагрузочную способность передач качения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Решетов, Д. Н.** Детали машин / Д. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с. : ил.
2. **Скойбеда, А. Т.** Детали машин и основы конструирования: учебник / А. Т. Скойбеда, А. В. Кузьмин, Н. Н. Макейчик ; под общ. ред. А. Т. Скойбеды. – Минск : Выш. шк., 2000. – 584 с. : ил.
3. **Линдроп, Н. Г.** Влияние погрешностей изготовления и монтажа на точность червячных передач / Н. Г. Линдроп // Зубчатые и червячные передачи. Некоторые вопросы геометрии, кинематики, расчета и производства ; под ред. Н. И. Колчина. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1968. – С. 118–132.
4. **Шишков, В. А.** Влияние погрешностей сборки червячной пары на плавность зацепления / В. А. Шишков // Станки и инструмент. – 1959 – № 10. – С. 14–17.
5. **Левитан, Ю. В.** Червячные редукторы : справочник / Ю. В. Левитан, В. П. Обморнов, В. И. Васильев. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1985. – 168 с. : ил.
6. **Пат. 7230 Республика Беларусь, МПК⁷ F 16H 1/16** Червячная передача: / М. Ф. Пашкевич, С. Н. Рогачевский; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20010662; заявл. 27.07.01; опубл. 30.03.03 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 1. – С. 83.
7. **Пат. 7334 Республика Беларусь, МПК⁷ F 16H 1/16.** Червячная передача / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. № а20020388; заявл. 06.05.02; опубл. 30.12.03 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 4. – С. 78.
8. **Пашкевич, М. Ф.** Геометрический анализ зацеплений в пружинно-винтовых передачах / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Балттехмаш-2002». – Калининград, 2002. – С. 173–175.
9. **Пашкевич, М. Ф.** Червячные передачи качения / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2005. – 137 с. : ил.
10. **Пашкевич, М. Ф.** Червячные передачи качения и их КПД / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2007. – № 3. – С. 45–50.
11. **Пашкевич, М. Ф.** Анализ взаимного расположения рабочих элементов червячной передачи качения со сдвоенным колесом / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2008. – № 2. – С. 13–20.