

УДК 681.855.001

UDC 681.855.001

**ЗУБЧАТО-ЦЕПНОЙ ПРИВОД**

**TOOTHED-CHAIN DRIVE**

Бережной Сергей Борисович  
д.т.н., профессор

Berezhnoy Sergey Borisovich,  
Dr.Sci.Tech., professor

Метильков Станислав Антонович  
д.т.н., профессор

Metilkov Stanislav Antonovich,  
Dr.Sci.Tech., professor

Пунтус Александр Владимирович  
к.т.н., профессор

Puntus Alexandr Vladimirovich,  
Cand.Tech.Sci., professor

Война Андрей Александрович  
к.т.н., доцент

Voina Andrey Alexandrovich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Скорюнов Антон Андреевич  
аспирант

Skoryunov Anton Andreevich  
postgraduate student

*Кубанский государственный  
технологический университет, Краснодар, Россия*

*Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia*

Предложена новая конструкция привода, включающая цепную и зубчатую передачи, разработаны геометрический и кинематический расчеты. Особенностью цепной передачи является то, что зубья звездочек имеют эвольвентный профиль. Привод обладает повышенной нагрузочной способностью, более высокой кинематической точностью при этом снижаются динамические нагрузки

The article presents a new design of the drive which includes chain and toothed developed geometric and kinematic calculations. Feature of chain gears is that the sprocket pins have involute profile. The drive has a high load capacity, higher kinematic accuracy with reduced dynamic loads

Ключевые слова: ПРИВОД, ЦЕПНАЯ ПЕРЕДАЧА, ВТУЛОЧНО-РОЛИКОВАЯ ЦЕПЬ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, КОНСТРУКЦИЯ, МОЩНОСТЬ, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ

Keywords: DRIVE, CHAIN DRIVE, BUSH ROLLER CHAIN, GEOMETRICAL CALCULATIONS, CONSTRUCTION, POWER, KINEMATIC PRECISION

С развитием промышленности, техники, технологий все больше внимания уделяется исследованию и совершенствованию приводов машин, т.к. от этого зависит надежность, производительность, энергосбережение и экономичность машин. В приводах применяют различные механические передачи: зубчатые, гибкой связью, трением и т.д.

В машиностроении, промышленных предприятиях, транспорте нашли широкое применение роликовые цепные передачи обладающие рядом преимуществ: по сравнению с ременными передачами отсутствуют проскальзывания цепи по звездочке, компактность, они не требуют значительного предварительного натяжения цепи, снижая тем самым нагрузки на валы и опоры, по сравнению с зубчатыми передачами могут

передавать энергию на значительные расстояния, не требуют такой точности монтажа, допускают в определенных пределах податливость корпусов и рам. Наиболее полная классификация таких передач приведена в работе [1].

В тоже время цепные передачи имеют свои недостатки. Так в одноконтурной цепной передаче недостаточная кинематическая точность за счет гранености и эксцентриситетов звездочек, разноразмерности шагов цепи [1,2].

В технике применяются также цилиндрические зубчатые передачи, которые обеспечивают передачу мощности с ведущего колеса на ведомое. Достоинством зубчатых передач является постоянство передаточного отношения высокая кинематическая точность.

Зубчато-цепная передача-привод (ЗЦП), предложенная авторами [3,4], позволяет одновременное использование преимуществ обеих передач. Такая передача представляет собой совокупность цепной передачи и двух зубчатых передач состоящих из колес 1, 3 и 2, 4 образующих сложную двухрядную зубчатую передачу (рис.1).

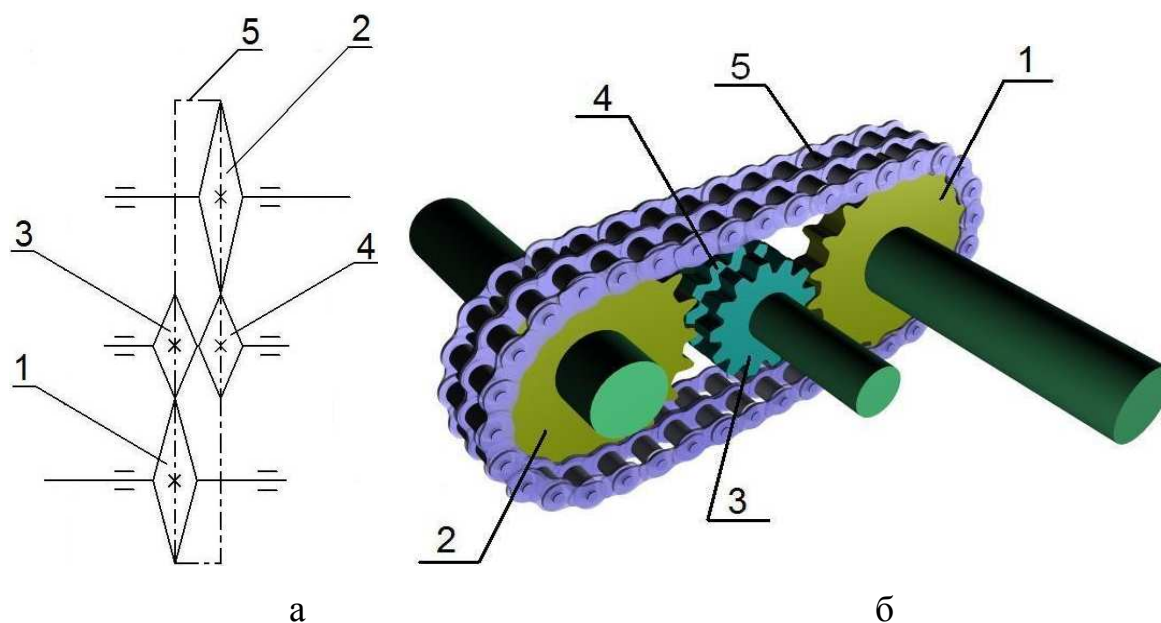


Рисунок 1 - Зубчато-цепная передача с двухрядной цепью:

а - схема передачи; б - общий вид

На рисунке 1 изображена схема ЗЦП с двухрядной цепью и ЗЦП в аксонометрии. Она состоит из двух параллельно работающих передач. Первая передача - цепная состоит из закрепленных на валах ведущей 1 и ведомой 2 звездочек с эвольвентным профилем зубьев и охватывающих их двухрядной приводной цепью 5 типа ПР. Эта передача обеспечивает передачу одного из двух потоков мощности. Второй поток мощности передается с использованием второй передачи, которая работает параллельно с первой и состоит из двухрядной зубчатой передачи, которая включает в себя зубчатые колеса 1, 2, 3, 4.

За счет использования предлагаемой схемы обеспечивается передача увеличенной мощности по сравнению с обычной цепной передачей, одновременно с этим повышается кинематическая точность за счет устранения неравномерности вращения валов из-за гранености и эксцентриситета звездочек и разноразмерности шагов цепи.

Числа зубьев ведущей 1 и ведомой звездочки 2 в общем случае не равны между собой и за счет этого достигается изменение частоты вращения звездочек 1 и 2.

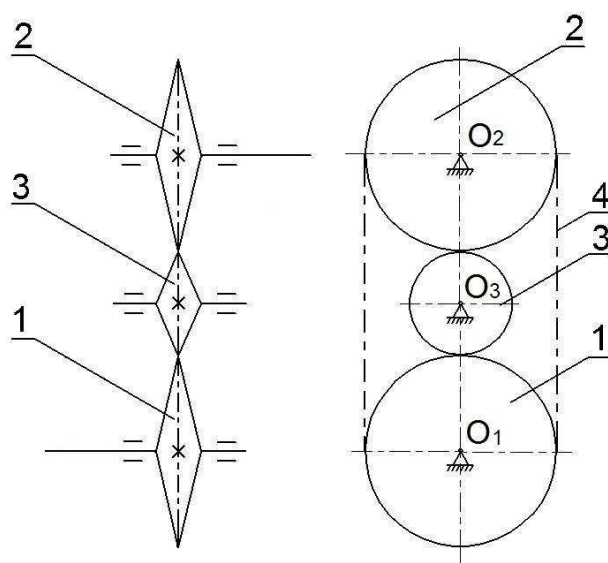


Рисунок 2 - Схема зубчато-цепной передачи-привод с однорядной цепью

Частным вариантом данной передачи является случай (рис.2) когда числа зубьев звездочек 1 и 2 равны друг другу ( $Z_1=Z_2$ ) (передаточное отношение цепной передачи  $U_{12}=1$ ), а охватывающая их цепь 4 - однорядная. На рисунке 2 изображена схема ЗЦП с однорядной цепью. Второй поток мощности передается при этом за счет однорядной зубчатой передачи состоящей из звездочек 1 и 2 и промежуточного эвольвентного зубчатого колеса 3.

Все звездочки и зубчатые колеса используемые в ЗЦП изготовлены с использованием двух видов коррекции: радиальной и тангенциальной в соответствии с патентом [5].

Таким образом, предложен принципиально новый механический привод-передача, сочетающий в себе все преимущества цепных и зубчатых передач. Данные передачи предлагается внедрить на предприятиях, применяющих цепные передачи для увеличения их нагрузочной способности и кинематической точности.

Применение ЗЦП позволяет увеличить нагрузочную способность за счет параллельного использования цепной и зубчатой передач и одновременно повысить общую кинематическую точность передачи.

Применение зубчатых цепей в ЗЦП позволяет получать более скоростные передачи, с большей плавностью работы и меньшим шумом при эксплуатации, чем с роликовыми цепями. В этих передачах выше кинематическая точность и надежность в работе.

Рассмотрим общий порядок геометрического расчета ЗЦП с зубчатой цепью. Чтобы избежать искажения цепного контура, которое имеет место для ЗЦП с двухрядной втулочно-роликовой цепью (рис.1), вызванное тем, что ведущая и ведомая звездочки сдвинуты друг относительно друга на величину, равную расстоянию между рядами цепи. Это приводит к закручиванию отрезков цепи, образующих ведущую и ведомую ветви, перекося звеньев цепи, набегающих и сбегаящих со звездочек, к

возникновению боковых сил, прижимающих звенья цепи к наружным торцам зубчатых венцов звездочек при работе цепной передачи. Предлагается конструкция ЗЦП, изображенная на рисунке, которая позволит устранить указанные недостатки.

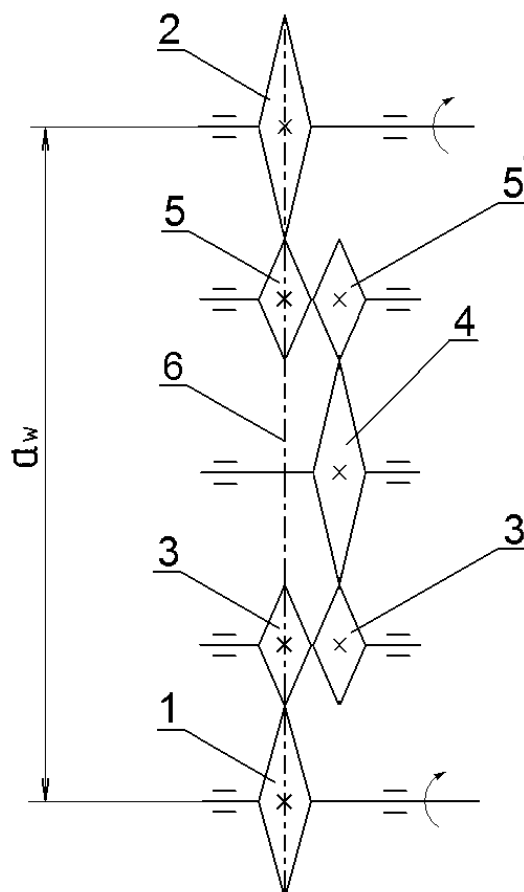


Рисунок 3 - Схема зубчато-цепной передачи с зубчатой цепью

1-ведущая звездочка, 2-ведомая звездочка

На рисунке 3 изображен ЗЦП, который имеет две параллельно работающие передачи, что увеличивает общую передаваемую мощность.

Первая передача – цепная, которая состоит из ведущей и ведомой звездочек 1 и 2 с эвольвентным профилем зубьев и охватывающей их зубчатой цепью 6 с односторонним зацеплением типа I, ГОСТ 13552-81.

Эвольвентные звездочки 1 и 2 нарезаются стандартным режущим инструментом типа червячной фрезы с использованием радиального и

тангенциального смещений [5] и находятся в одной плоскости, что исключает закручивание цепи.

Такая конструкция ЗЦП обеспечивает передачу одного из двух силовых потоков мощности.

Второй поток мощности передается зубчатой передачей, состоящей из эвольвентных звездочек 1 и 2, которые в данном случае являются зубчатыми колесами и зубчатой передачей с эвольвентными зубчатыми колесами 3, 3', 4, 5, 5'. Зубчатая передача 3, 3', 4, 5, 5', может быть выполнена с любыми колесами.

Обязательными условиями для сохранения неизменным передаточного отношения ЗЦП являются равенства  $Z_3=Z_{3'}$ ,  $Z_5=Z_{5'}$ .

Для упрощения изготовления передачи, зубчатые колеса 3', 4 и 5 могут быть изготовлены «нулевыми», с коэффициентом смещения  $x_i=0$ .

Геометрический расчет и изготовление звездочек 1 и 2 цепной передачи осуществляется в соответствии с работой [5], согласно которой вначале определяется предварительное значение модуля инструмента

$$m^* = \frac{h}{2,25},$$

где  $h$  - высота зуба звездочки.

Величина  $m^*$  округляется до стандартного значения  $m$ .

Нарезание звездочек 1 и 2 проводится в два этапа.

На первом этапе (радиальная коррекция) инструмент врезается на величину  $h$ , реализуя коэффициент радиального смещения

$$x = \frac{D_i}{2m} - \frac{Z}{2} + h_a^* + c^*,$$

где  $D_i$  - диаметр окружности впадин звездочки;

$h_a^*$ ,  $c^*$  - коэффициенты высоты головки зуба и радиального зазора исходного производящего контура инструмента.

На втором этапе заготовку поворачивают на угол  $\varphi$ , и повторяют процесс нарезания с удалением металла только с одной стороны зубьев, обеспечивая нужную ширину впадины [5].

После этого, расчет передач  $Z_1:Z_3$ ,  $Z_5:Z_2$  осуществляется по тем же зависимостям, что и для аналогичной ЗЦП с приводными роликовыми цепями ПР.

Геометрический расчет однорядной зубчатой передачи, состоящей из колес 3, 5 и паразитного колеса 4, проводится по известным зависимостям [3].

Предложенная передача может быть использована на предприятиях, применяющих цепные передачи, и позволяет увеличить нагрузочную способность передачи за счет использования двух потоков мощности.

Выполним геометрический расчет ЗЦП с передаточным отношением  $U_{12} > 1$  и  $U_{12} = 1$ , соответственно, с двух- и однорядной цепью (рис. 4).

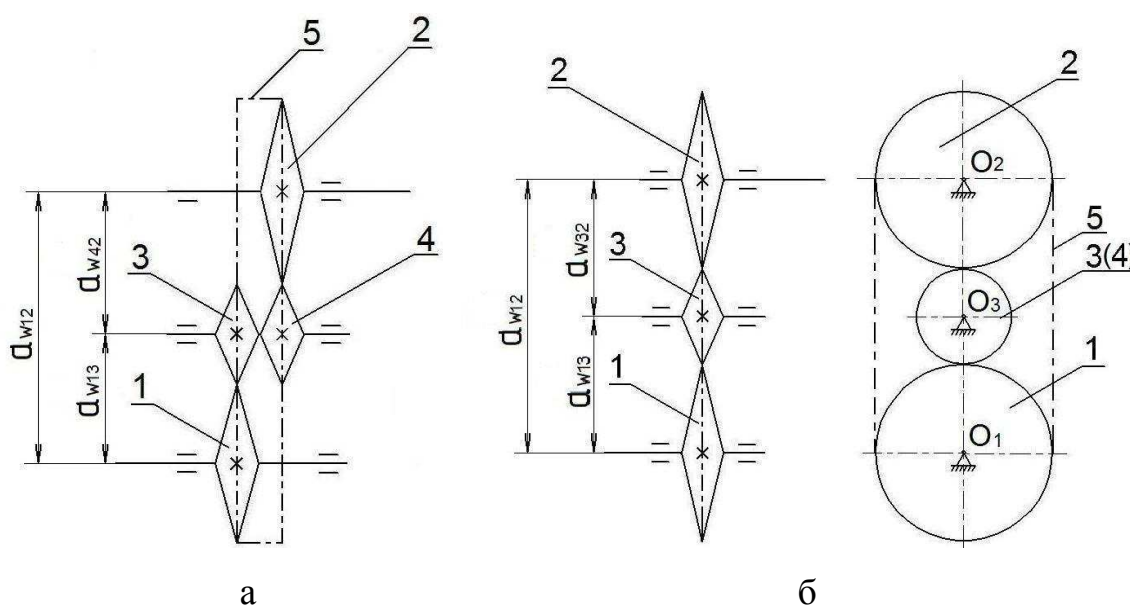


Рисунок 4 - Зубчато-цепные передачи-приводы:  
а - с двухрядной цепью; б - с однорядной цепью.

Все звёздочки и зубчатые колёса в ЗЦП выполнены эвольвентными с использованием двух видов коррекции: радиальной и тангенциальной в соответствии с патентом [5].

Ниже рассмотрен общий порядок геометрического расчёта ЗЦП с двухрядной цепью, приведенной на рисунке 4а. Звёздочки 1, 2 и зубчатые колёса 3, 4 выполнены с эвольвентным профилем зубьев, цепь 5 – приводная втулочная или роликовая (ГОСТ 13568-97).

Задаёмся значениями шага цепи  $t$  и числом зубьев звёздочек  $z_1, z_2$  и зубчатых колёс  $z_3, z_4$  и рассчитываем последовательно вначале цепную передачу ( $z_1 : z_2$ ), а затем зубчатые ( $z_1 : z_3$ ), ( $z_4 : z_2$ ).

Расчёт цепной передачи проводится по методике, которая приведена подробно в [3,4].

1. Определяем предварительное значение модуля эвольвентных звёздочек  $m^* = t/\pi$ , его значения округляем до стандартного  $m$ , который используется в дальнейшем и при расчёте зубчатых передач в ЗЦП.

2. Находим геометрические параметры звёздочек 1 и 2, используя зависимости для зубчатых колёс и расчётные формулы для одноходовых звёздочек (ГОСТ 592-75):

- диаметры делительных  $d_{1,2}$  и основных  $d_{b1,2}$  окружностей звёздочек, которые одновременно являются зубчатыми колёсами

$$d_{1,2} = mz_{1,2}; d_{b1,2} = m \cdot z_{1,2} \cdot \cos \alpha;$$

- диаметры делительных окружностей звёздочек, на которых располагаются центры шарниров цепи

$$d_{\partial 1,2} = \frac{t}{\sin 180^\circ / z_{1,2}}.$$

Следует отметить, что у эвольвентных звездочек различают две окружности с одинаковым названием – «делительная»: первая -



диаметром  $d$  – окружность стандартного модуля, вторая – диаметром  $d_0$  – определяет расположение центров шарниров цепи на зубьях звездочки;

- диаметры впадин  $D_{i1,2}$  и выступов  $D_{e1,2}$  определяют по формулам ГОСТ 592-75.

При расчёте  $D_{e1,2}$  предпочтительно выбирать максимально возможное значение высоты зуба, величина которой лимитируется заострением зубьев при вершине ( $S_e=0$ ) и свободой выхода шарнира из зацепления. Это позволяет увеличить число зубьев, передающих нагрузку в цепной передаче, а также коэффициент перекрытия  $\varepsilon$  зубчатых передач ( $z_1 : z_3$ ), ( $z_4 : z_2$ );

- параметры коррекции стандартного режущего инструмента для получения впадины звёздочки, обеспечивающей правильное расположение ролика (втулки) цепи [5]:

а) коэффициенты радиального смещения инструмента  $x_1$  и  $x_2$ ;

б) угол поворота ( $\varphi_{1,2}$ ) заготовки при тангенциальной коррекции или заменяющее его осевое смещение червячной фрезы

$$S_{1,2} = \varphi_{1,2} \frac{d_{1,2}}{2} .$$

3. Задаёмся межосевыми расстояниями  $a_{w1,3}$ ,  $a_{w4,3}$  (в первом приближении их можно принять равными сумме радиусов делительных окружностей  $r_i = mz_i/2$ , ( $i = 1, 2, 3, 4$ )).

4. Производим расчёт зубчатой передачи ( $z_1 : z_3$ ) [3].

4.1 Находим радиусы начальных окружностей

$$r_{w1} = \frac{a_{w1,3} \cdot u_{1,3}}{u_{1,3} + 1} ;$$

$$r_{w3} = \frac{a_{w1,3}}{u_{1,3} + 1} ,$$

где  $u_{13} = z_3/z_1$  - передаточное отношение зубчатой передачи ( $z_1 : z_3$ ).

4.2 Определяем толщину зуба звёздочки  $z_1$  (как зубчатого колеса) на начальной окружности  $S_{W1}$  [5].

4.3 Толщина зуба колеса  $z_3$  на начальной окружности  $r_{W3}$

$$S_{W3} = P_W - S_{W1},$$

где  $P_W = \frac{\pi(d_{W1} + d_{W3})}{z_1 + z_3}$  - шаг по начальной окружности.

4.4 Определяем коэффициент смещения инструмента  $x_3$  для получения необходимой величины толщины зуба  $S_{W3}$  на радиусе  $r_{W3}$  по известной зависимости [3].

4.5 Радиус впадин колеса  $z_3$

$$r_{f3} = m\left(\frac{z_3}{2} + x_3 - h_a^* - c^*\right),$$

где  $h_a^*$  - коэффициент высоты зуба исходного производящего контура (ИПК)

$c^*$  - коэффициент радиального зазора ИПК.

4.6 Проверяем соблюдение принятого ранее межосевого расстояния по формуле:

$$a_{W13} = \frac{D_{e1}}{2} + c^* \cdot m + \frac{d_{f3}}{2}.$$

Если равенство не соблюдается, то при нарезании колес  $z_3$  и  $z_4$  следует применять модифицированный режущий инструмент, параметры которого позволят обеспечить при одной радиальной коррекции значения  $S_{W3}$ ,  $r_{f3}$ ,  $a_{W13}$ . В результате, в передаче ( $z_1 : z_3$ ) будет обеспечен нулевой боковой и стандартный радиальный зазоры.

5. Производим расчет зубчатой передачи ( $z_4 : z_2$ ) в том же порядке, что и передачи ( $z_1 : z_3$ ).

6. Проверяем значения коэффициентов перекрытия  $\varepsilon$  в зубчатых передачах по условию [2]:

$$\varepsilon > 1.$$

7. Определяем предварительное число звеньев цепи:

$$L_t^{np} = 2 \frac{a_{W13} + a_{W42}}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2},$$

которое округляем до ближайшего четного значения.

В частном случае для ЗЦП с однорядной цепью и с  $U_{12} = 1$  (рисунок 4б) имеем одно промежуточное колесо  $z_3$  и однорядную цепь 5. Расчет зубчатой передачи ( $z_1:z_3$ ) при этом будет таким же, как и для схемы, показанной на рисунке 4а.

Конкретные расчеты ЗЦП по приведенной методике показали, что применение одного стандартного режущего инструмента для нарезания всех звездочек возможно только при больших значениях геометрической характеристики зацепления  $\lambda = t/D$ , равной 1,9 и более. Этому условию удовлетворяет только, например, однорядная втулочная цепь ПВ-9,525-1100, а также роликовые длиннозвенные цепи типа ПРД по ГОСТ 13568-75.

Для ЗЦП с  $U_{12} > 1$  и двухрядной цепью возможно стандартным режущим инструментом нарезать звездочки 1, 2, а зубчатые колеса 3,4 – только модифицированным инструментом.

Выводы.

1. Применение зубчато-цепного привода позволяет увеличить нагрузочную способность цепной передачи за счет параллельного использования цепной и зубчатой передачи, т.е. использования двух потоков мощности и одновременно повысить общую кинематическую точность и снизить динамические нагрузки привода.

2. Приведена методика расчета зубчато-цепного привода.

3. С целью применения стандартного режущего инструмента для нарезания звездочек и зубчатых колес рекомендуется применять втулочные и роликовые цепи с геометрической характеристикой

$$\lambda = \frac{t}{D} \geq 1,9.$$

### Литература

1. Бережной С.Б. Роликовые цепные передачи общемашиностроительного применения. – Краснодар: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 244с.
2. Петрик А.А., Метильков С.А., Пунтус А.В., Бережной С.Б. Проектирование открытых цепных передач: Монография (научное издание)/ Под общей редакцией С.А.Метилькова. – Краснодар, 2002. – 156 с.
3. Гавриленко В.А. Основы теории эвольвентной зубчатой передачи. М.: Машиностроение, 1969г.-432с.
4. Пат. 110440 Российская Федерация, МПК F 16 H 7/06. Зубчато-цепная передача / Бережной С.Б., Остапенко О.И., Понякин М.В., Скорюнов А.А. ; Гос. обр. уч. высшего проф. обр. «Кубанский гос. технологический университет» (ГОУ ВПО КубГТУ). - №2011134905/11; заявл. 19.08.11; опубл. 20.11.11, Бюл. №32. – 2 с.: ил.
5. Пат. 2469229 Российская Федерация, МПК F 16 H 37/02, F 16 H 7/06. Зубчато-цепная передача / Бережной С.Б., Остапенко О.И., Понякин М.В., Скорюнов А.А. ; Гос. обр. уч. высшего проф. обр. «Кубанский гос. технологический университет» (ГОУ ВПО КубГТУ). - №2011120967/11; заявл. 24.05.11; опубл. 10.12.12, Бюл. №34. – 4 с.: ил.
6. Патент РФ №2243068/ Способ изготовления эвольвентных звездочек/ авт. Петрик А.А., Бережной С.Б., Остапенко О.И., Война А.А.

### References

1. Berezhnoj S.B. Rolikovyе cepnye peredachi obshhemashinostroitel'nogo primeneniya. – Krasnodar: Izd-vo MGТУ im. N.E. Baumana, 2004. – 244s.
2. Petrik A.A., Metil'kov S.A., Puntus A.V., Berezhnoj S.B. Proektirovanie otkrytyh cepnyh peredach: Monografija (nauchnoe izdanie)/ Pod obshhej redakciej S.A.Metil'kova. – Krasnodar, 2002. – 156 s.
3. Gavrilenko V.A. Osnovy teorii jevol'ventnoj zubchatoj peredachi. M.: Mashinostroenie, 1969g.-432s.
4. Pat. 110440 Rossijskaja Federacija, MPK F 16 H 7/06. Zubchato-cepная peredacha / Berezhnoj S.B., Ostapenko O.I., Ponjakin M.V., Skorjunov A.A. ; Gos. obr. uch. vysshego prof. obr. «Kubanskij gos. tehnologicheskij universitet» (GOU VPO KubGTU). - №2011134905/11; zajavl. 19.08.11; opubl. 20.11.11, Bjul. №32. – 2 s.: il.
5. Pat. 2469229 Rossijskaja Federacija, MPK F 16 H 37/02, F 16 H 7/06. Zubchato-cepная peredacha / Berezhnoj S.B., Ostapenko O.I., Ponjakin M.V., Skorjunov A.A. ; Gos. obr. uch. vysshego prof. obr. «Kubanskij gos. tehnologicheskij universitet» (GOU VPO KubGTU). - №2011120967/11; zajavl. 24.05.11; opubl. 10.12.12, Bjul. №34. – 4 s.: il.
6. Patent RF №2243068/ Sposob izgotovlenija jevol'ventnyh zvezdochek/ avt. Petrik A.A., Berezhnoj S.B., Ostapenko O.I., Vojna A.A.