

technichesky institut. - заявл. 19.09.85; опубл. 26.03.87; 15. Козачевский Г.Г. Повышение долговечности зубчато-ременных передач: Дисс.... канд. техн. наук. - Минск. - 1985. - 181с.; 16. Doug McCormick. Getting step Ruth hybrid belts / Design Engineering. - 1981, vol.52. - №4. - p.19-26.; 17. А.с. 1669756 (СССР), МКИ<sup>5</sup> В29D29/08. Устройство для сборки бесконечных резиновых лент/ А.И.Бобровник, А.Н.Никончук, А.Т.Скойбеда, М.И. Корженцевский; Бел. политехн. ин-т. - №4400460/05; Заявл. 30.03.88; опубл. 15.08.91, Бюл. №30// Открытия. Изобретения. - 1993. -№30. - с.54. 18. А.с. 1712234 (СССР), МКИ<sup>4</sup> В62D55/24. Резинометаллическая гусеница/ А.Н.Никончук, М.А.Родионов, А.Т. Скойбеда, А.И.Бобровник, Бел. политехн. ин-т. -№4827871/11; заявл. 21.05.90; опубл. 15.02.92, Бюл. №6// Открытия. Изобретения. - 1992. - №6. - с. 85; 19. А.с. 1784764 (СССР), МКИ<sup>5</sup> F16G1/28. Зубчатый ремень/ А.Н.Никончук, М.А.Родионов и др.; Бел. политехн. ин-т. - №4789354/27; заявл. 07.02.90; опубл. 30.12.92, Бюл. №48// Открытия. Изобретения. -1992. -№48.- с. 101; 20. А.с. 1751544 (СССР), МКИ<sup>5</sup> F16G1/21. Зубчатый ремень/ А.Н.Никончук, А.И.Бобровник и др.; Бел. политехн. ин-т. - №4793430/27; заявл. 16.02.90; опубл. 30.07.92, Бюл. №28// Открытия. Изобретения. -1992. -№28.- с. 162; 21. А.с. 1784789 (СССР), МКИ<sup>5</sup> F16G1/28. Зубчатый ремень/ А.Н.Никончук, А.А.Баран, А.И.Бобровник и др.; Бел. политехн. ин-т. №4768662/27; заявл. 11.12.89; опубл. 30.12.89, Бюл. №48// Открытия. Изобретения. - 1992. -№48.- с.105; 22. А.с. 1712233 (СССР), МКИ<sup>5</sup> В62D55/24. Резинометаллическая гусеница/ А.Н.Никончук, М.А. Родионов, В.И.Шпилевский; Бел. политехн. ин-т.- №827720/11; заявл. 21.05.90; опубл. 15.02.92, Бюл. №6// Открытия. Изобретения. -1992. -№6. - с. 85; 23. А.с. 1677409 (СССР), МКИ<sup>5</sup> F16G1/28. Двусторонний зубчатый ремень / А.Н.Никончук; Бел. политехн. ин-т. - №4773742/00-27; заявл. 30.08.89; опубл. 15.09.91, Бюл. №34// Открытия. Изобретения. -1991. -№34. - с. 149; 24. А.с. 1665769 (СССР), МКИ<sup>5</sup> F16H7/00 Зубчато-ременная передача/ А.Т.Скойбеда, А.Н.Зуб, А.Н.Никончук, и др.; Бел. политехн. ин-т. - №4072478/28; заявл. 29.05.86; ДСП; 25. А.с. 1742555 (СССР), МКИ<sup>5</sup> F16G5/00. Зубчатый ремень/ А.Н.Никончук, В.И.Шпилевский; Бел. политехн. ин-т. - №4758558/27; заявл. 13.05.90; опубл. 23.06.92, Бюл. №23// Открытия. Изобретения. -1992, -№23.- с.140. 26. А.с. 1521959 (СССР), МКИ<sup>5</sup> F16H7/02. Зубчато-ременная передача/ А.Г. Бондаренко, А.Н.Никончук и др. Бел. политехн. ин-т. - №4196383/25-28, заявл. 16.02.87; опубл. 15.11.89, Бюл. №42// Открытия. Изобретения. -1989. - №42. - с. 148.

УДК 621.85.052.44

А.Г. Баханович

## ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ С ПОВЫШЕННОЙ ПЛАВНОСТЬЮ РАБОТЫ И ПОНИЖЕННЫМ ШУМОИЗЛУЧЕНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Основная акустическая мощность зубчато-ременной передачи имеет своей причиной ударное взаимодействие зубьев ремня и шкива, поэтому снижение ударного импульса будет сопровождаться эквивалентным снижением акустической эмиссии. Наиболее простой путь снижения ударного импульса – уменьшение твердости материалов зубьев ремня и шкива. Поскольку в подавляющем большинстве силовых и скоростных конструкций зубчато-ременных передач используют стальные или

чугунные шкивы, то в исследованиях [1] предлагается применение шкивов, рабочая часть которых выполнена из синтетического материала, например, фторопласта или нейлона. По утверждению авторов, шум в среднем диапазоне частот снижается в 1,2...1,3 раза.

Однако поскольку наибольшей деформации при входе в зацепление (интерференции) подвержены зубья ремня, ряд авторов предлагает модификацию их наружной поверхности, причем эта модификация должна вестись в рамках сложившегося уровня унификации. Для стандартизованных трапецеидальных зубьев ремня в [2] рекомендуется 3 наружных слоя: наиболее глубокий – упрочняющий, состоящий из резины с армирующим наполнителем; промежуточный – из резины с пониженной плотностью, например, пористой, обеспечивающей демпфирование вибраций и поглощение ударов, и наружный – шумопоглощающий с добавлением, например, газовой сажи. Эту конструкцию можно трансформировать к виду, представленному на рис.1 [3].

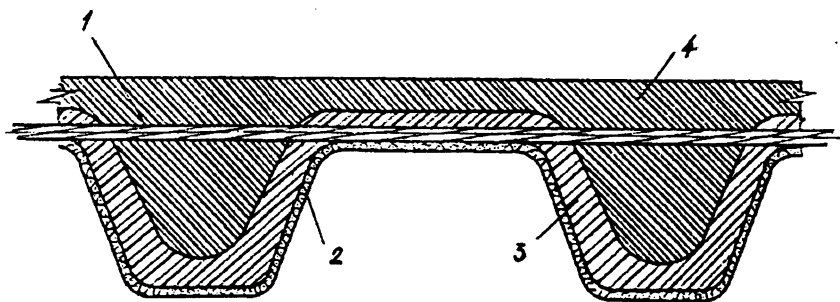


Рис. 1. Зубчатый ремень с наружным демпфирующим слоем: 1 – кордшнур; 2 – обкладочная ткань; 3 – мягкий поверхностный слой; 4 – твердая основа

В данном случае более жесткая и твердая сердцевина зуба покрыта мягким вибрирующим слоем, образующим вдоль ремня синусоиду. Поскольку более мягкий слой подвержен более интенсивному износу, его рекомендуется покрывать тканевой обкладкой. Недостаток конструкции – трудоемкость изготовления, т.к. для ее получения требуется применение специальной технологии, обеспечивающей фиксированные форму и размеры всех слоев [4]. Более простым в реализации можно считать покрытие уже свулканизированного ремня с обкладочной тканью защитным противоударным слоем толщиной 50...300 мкм из термопластичных сополимеров с температурой плавления не ниже 165<sup>0</sup>С [5]. Очевидно, однако, что демпфирующие свойства слоя подобной толщины весьма незначительны. Более эффективно покрытие ремня как снаружи, так и на рабочей части дополнительными слоями резины толщиной 1...2 мм [6]. Снижение уровня шума при увеличении натяжения с 250 до 550 Н для ремня типа L – до 10 дБ.

Недостатками ремней с демпфирующими покрытиями, нанесенными поверх износостойкого тканевого покрытия, является их низкая прочность и высокая истираемость, что предопределяет низкий срок службы покрытия, после которого трудоемкий и сложный в изготовлении ремень превращается в обыкновенную стандартную конструкцию. Для выхода из подобной ситуации предлагались разновидности шкивов с канавками на рабочей части зубьев, направленных от вершины к днищу межзубой впадины. Такой шкив имел вид шевера, используемого для отделки зубчатых колес, и отличался исключительной дороговизной. В связи с этим в работе [7] предложена зубчато-ременная передача со стандартными трапецеидальными шкивами и ремнем, рабочая поверхность которого образована прерывистым профилем,

имеющим в продольном сечении стандартные размеры. Выступы профиля, деформируясь при входе в зацепление, демпфируют ударные эффекты. В состоянии полного зацепления зуб ремня прилегает к зубу шкива всей площадью боковой поверхности. Общий недостаток конструкций ремней с повышенной поверхностной податливостью зубьев – нарушение оптимального шага зубьев под нагрузкой с соответствующим ухудшением равномерности нагружения зубчатых пар на дуге обхвата.

В рамках сохранения сложившегося уровня стандартизации без пересмотра параметров профиля зубьев имеется тенденция создания передач, у которых контакт зубьев шкива и ремня происходит не одновременно по всей поверхности их взаимного прилегания, а вначале в одной точке или двух, находящихся у одного или обоих торцов шкива. Для этого шкивы либо выполняют прямозубыми, но коническими, с углом конуса  $1...2^{\circ}$  [8,9], или бочкообразными [10]. При этом в последней конструкции при увеличении окружного усилия ремень плотнее прилегает к образующей шкива. Недостаток конструкций – неравномерный износ ремня по ширине, перегрузка отдельных витков корда. Более прогрессивной разновидностью передачи с разделенной во времени фазой входа в зацепление следует считать передачи, в которых шкив состоит из набора зубчатых дисков  $n$ , повернутых друг относительно друга на величину угла  $\varphi = t_p^0(n-1)$ , где  $t_p^0$  – угловой шаг зубьев, или на угол  $\varphi = 20...30^{\circ}$  [11,12,13]. В этом случае акт входа в зацепление дискретно делится на ряд независимых периодов, т.к. ремень также имеет смещенные соответственно шкиву зубья. Поскольку каждый из элементарных ремней воспринимает лишь долю общего окружного усилия, то и ударные эффекты в его зацеплении со шкивом будут снижены в 5 раз.

Анализ патентной и научно-технической литературы за период с 1970 по 2004г. показал, что на этом возможности снижения шумоизлучения в передачах с наиболее распространенными трапецеидальными зубьями практически исчерпаны. Радикальное решение этой проблемы лежит вне использования традиционной геометрии.

Выше было отмечено, что интенсивность ударных процессов при входе зубьев в зацепление пропорциональна величине их интерференции. Таким образом, уменьшение этого нежелательного эффекта не только снижает износ зубьев ремня, но и делает передачу вращения более плавной. Действительно, применение профилей с полукруглой геометрией (типа НТД) взамен равноценных по несущей способности трапецеидальных ремней уже при  $n_1=1440 \text{ мин}^{-1}$  обеспечивает снижение шума на 30 дБ [14]. Еще большее снижение шума характерно для нормализованных передач типа *STPD* [15,16], профиль которых очерчен дугой окружности с центром, соответствующим повороту зуба ремня в конечной фазе его входа в зацепление со шкивом, т.е. близком к взаимоогibaемой. Таким образом, ремень с профилем, очерченным дугами с центрами на наружной поверхности вершин зубьев шкива (рис.2,а) [17] будет иметь еще лучшие показатели плавности работы, что и декларируется разработчиками. Однако полное устранение профильной интерференции и, очевидно, наивысшая плавность работы среди прямозубых конструкций возможна для разновидности конструкции, центры дуг профиля которой находятся на нейтральной оси ремня, обкатывающейся по вершинам зуба шкива без скольжения (рис.2,б) [18].

Справедливо упомянуть о других разработках профиля зуба, которые, как утверждают разработчики, обладают минимальным шумоизлучением.

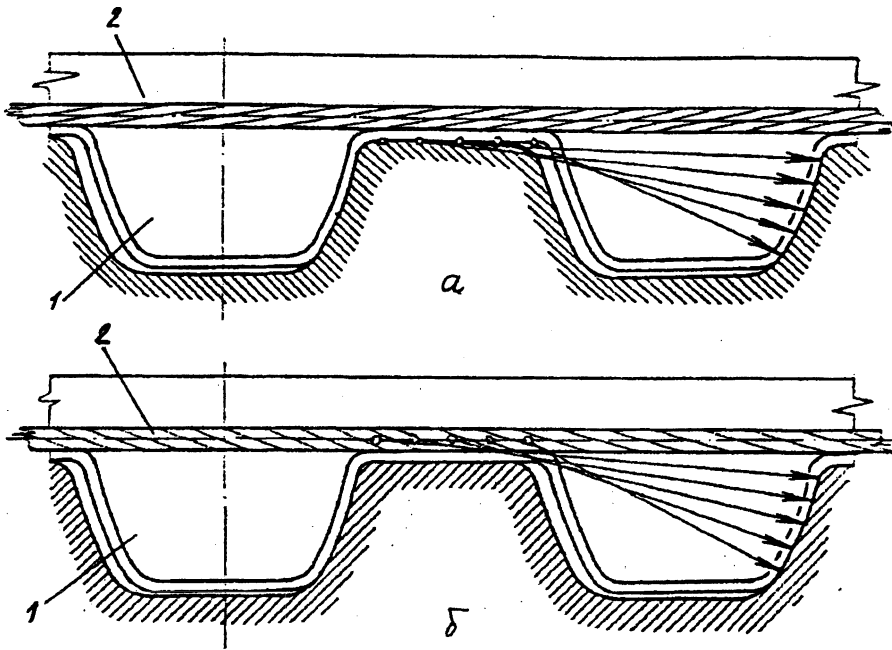


Рис. 2. Зубчато-ременная передача с рациональной геометрией зубьев: а – со сниженной профильной интерференцией; б – безинтерференционная; 1 – зуб ремня; 2 – кордшнур

Так известен профиль [19], у которого координата по горизонтали  $x$  зависит от параметра  $\beta$  (начало координат находится на вершине зуба) в соответствии с уравнением:

$$y = \left[ \frac{16h_p}{(S_p + 4\delta)^2} \right] \cdot x^2. \quad (1)$$

где:  $h_p$  – высота зуба ремня;  $S_p$  – ширина основания ремня;  $\delta$  – задаваемый параметр.

Очевидно, что такой профиль не обеспечивает отсутствия интерференции, а лишь создает достаточно тонкую и поэтому податливую вершину, соударение которой с боковой поверхностью зуба шкива не сопровождается значительным импульсом.

Задача облегчения входа в зацепление путем обеспечения повышенной податливости вершин решается в ряде разработок (рис.3,а,б) [20,21], однако такие ремни имеют недостаточную несущую способность зубьев. Более прочные зубья при одновременно податливой кромке зубьев ремня реализована в [22,23] (рис.3,в). Видно, что зуб ремня оснащен продольным скругленным пазом. При входе без зазора в трапецеидальный паз шкива кромки зуба деформируются, обеспечивая плотный и беззазорный контакт. Повышение несущей способности профилей с деформируемыми кромками возможно путем организации взаимодействия поверхности зуба с гребнем, выполненным на днище впадины шкива. Таких гребней, как и пазов, может быть несколько (рис.3,г) [24,25,26]. Такая конструкция из всех малошумных вариантов обладает наибольшей тяговой способностью, т.к. гребень впадины шкива также передает известную долю окружного усилия.

Вместе с тем, очевидно, что повышение эксплуатационных качеств зубчато-ременных передач в плане снижения шумоизлучения и повышения плавности работы традиционными, экстенсивными методами малопродуктивно. Подобная процедура должна опираться на соответствующий опыт, накопленный в приводах других типов, например, в зубчатых передачах.

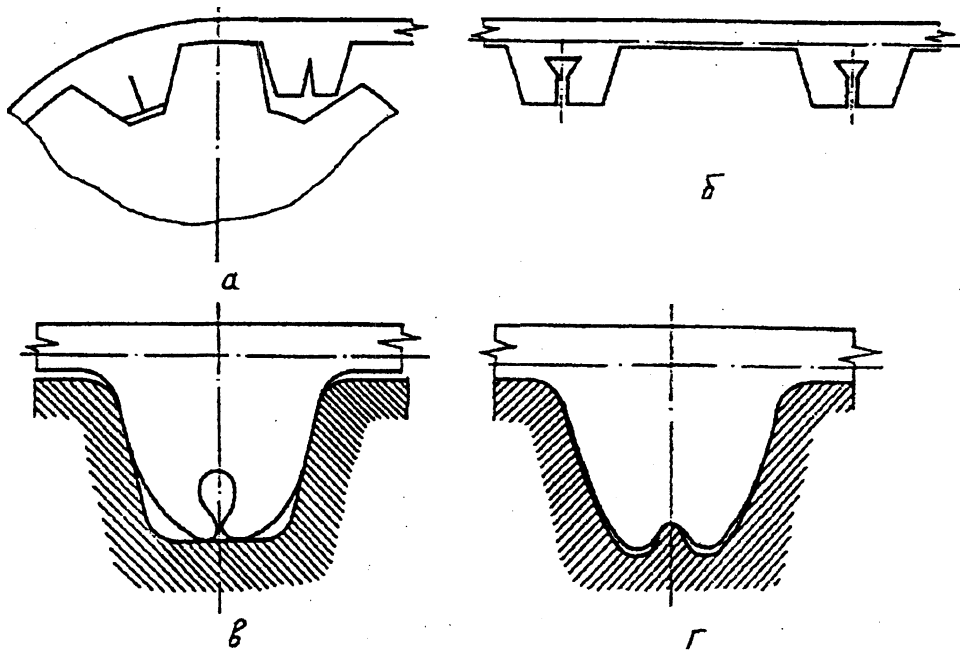


Рис. 3. Конструкции зубчатых ремней с податливыми вершинами зубьев

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bogs Robert N. Nylon pulleys bountime// Design News. – 1991. – Vol.47, №9. – p.60-62.
2. Пат. 57-8890, Япония, МКИ F16G1/28. Зубчатый ремень/ Уэхара Кунио; К.К.Цубакимото тиэйн. - заявл. 13.01.76; опубл. 19.02.82. – 3с.;
3. Пат. 61-40640, Япония, МКИ F16G1/28. Зубчатый ремень/ Мимура Такаси; Торэ К.К. - заявл. 12.12.84; опубл. 27.06.86. – 5с.;
4. Koyama Tomio, Watanabe T., Kagotani Masahori// Transaction ASME. – 1989. – Vol.112, №3. – p.419-423.;
5. Koyama Tomio, Watanabe T., Kagotani Masahori// Transaction ASME. – 1989. – Vol.112, №3. – p.424-429.;
6. А.с. 1426835 (СССР), МКИ В29D29/08. Способ изготовления зубчатых ремней и устройство для его изготовления/ А.Н.Никончук, Г.Г.Козачевский, А.Г.Бондаренко, В.В.Никитин; Бел. политехн. ин-т. - №4151740/ 31-05; заявл. 24.11.86; опубл. 30.09.88. Бюлл. №36// Открытия. Изобретения. – 1988. - №36. – с.74.;
7. Пат. 1-15736 (Япония), МКИ F16G1/28, 16H7/02. Жесткая система ременной передачи, зубчатый ремень и способ его формования/ Юниройал Инк. (США). - №57-195952; заявл. 12.01.82; опубл. 20.03.89. – 18 с.
8. Aizoh Kubo, Toshiaki Ando, Susumi Sato, Toshio Aida, Takeshi Hosiro // Bulletin of the JSME – 1971. – Vol.14, №75. – p.998-1001.;
9. Международная заявка W088/30384, МКИ F16H55/38. Power transmission system using toothed belt/ Miyamura Noroyuki, Iwasa Seizo, Asano Hiroshi, Nagai Isamu; Mitsubishi Jidosha Kogo Kaboshiki (Япония). - №JP88/00563; заявл. 17.06.87; опубл. 19.02.88. – 6 с.;
10. Пат. 2810971, ФРГ, МКИ F16H7/02. Zahnriementrieb/ Fredrik Joachim; Bayerische Motoren Werke A.G. - заявл. 27.05.80; опубл. 19.12.80. – 14 с.;
11. Пат. 215833, ГДР, МКИ F16H7/02. Zugmittelgetriebe für Zahnriemen/ Tümmler Jürgen; VEB Robotron-Rechen und Schreibtechnik. - №2466427; заявл. 18.12.82; опубл. 21.11.84. – 4 с.;
12. Weck M. Selbstführender Zahnriementrieb Senkt Geräusche Wesentlich// Maschinenmarkt. – 1981. – Vol.97; №20. – p.320-321.;
13. Пат. 293704, ГДР, МКИ F16G1/28. Zahnriemen/ Siebd Rath Gunter, Jentzsch Joachim. - №3393128; заявл. 02.04.90; опубл. 29.08.91. – 3 с.;
14. Fisher K. High efficiency claim for new toothed belts// Journal Institute Engineers Austral. – 1982. – Vol.54, №18. – p. 49-51.;
15. Schumann R. Zahnriemen mit neuartigen Profil// Antriebstechnik. – 1988. – Vol.25, №1. – p. 30-32.;
16. Икута Акинобу. Зубчатые ремни// Киккай

сэжкей. – Machine Design. – 1989. – Vol.33, №16. – p. 109-113; 17. Пат. 0384049, ЕПВ, МКИ F16G1/28. Power transmission belt and drive/ Tanaka H., Royuki N., Nagai Kanaji, Mitsuboshi Belting Ltd. - заявл. 20.02.89; опубл. 29.08.90. – 8с. 18. А.с. 1820095 (СССР), МКИ F16H1/28. Зубчато-ременная передача/ А.Н.Никончук; Бел. политехн. ин-т. - №4936514/28; заявл. 16.05.91; опубл. 07.06.93, Бюлл. №21// Открытия. Изобретения. – 1993. - №21. – с. 91.; 19. Пат. 2457409, Франция, МКИ F16G1/28. Courroie crantée don't les dents presentent un profil geometrique detertee/ Gicognani Mario; Industrie Pirelli S.p.A. - №8011685; заявл. 27.05.80; опубл. 19.12.80. – 8 с.; 20. Пат. 3510740, ФРГ, МКИ F16H7/02. Zahnriemenaufbau aus Polyurethan/ Nishicori Yoji, Komaki Aichi; Mitsuboshi Belting Ltd. - заявл. 25.03.85; опубл. 25.09.86. – 10 с.; 21. Пат. 4614510, США, МКИ F16G1/28. Polyurethane toothed belt structure / Nishikori Yoji; Mitsuboshi Belting Ltd. - №709541; заявл. 08.03.85; опубл. 30.09.86; НКИ 474-205. – 19 с.; 22. Пат. 4614509, США, МКИ F16G1/28. Toothed belts/ Giorgio Tangorra; Industrie Pirelli S.p.A. - №467794; заявл. 18.02.83; опубл. 30.09.86; НКИ 474-205. – 10 с.; 23. Заявка 0309653, ЕР, МКИ F16G1/28. Gezahnte Treilriemen/ Mariani Giorgio; Industrie Pirelli S.p.A. - №88109809.9; заявл. 20.06.88; опубл. 05.04.89. – 8 с.; 24. Пат. 4571204, США, МКИ F16H7/02. Belt drive system/ Arinaga Kumiomi; Unitta Co. Ltd. - №517257; заявл. 26.07.83; опубл. 18.02.86; НКИ 474-153. – 5 с.; 25. Пат. 4553952, США, МКИ F16G1/28. Toothed belt and toothed-pulley transmission/ Tangorra Giorgio, Gicognani Mario, Macchiarulo Vincenzo; Industrie Pirelli S.p.A. - №467793; заявл. 18.02.83; опубл. 19.11.85; НКИ 474-153. – 9 с.; 26. Пат. 4016174, ФРГ, МКИ F16H7/02. Zahnriementrieb/ Bartelt Dietrich, Guskov Valery, Kozachevskij Genadij, Rak Janusz, Scheck Walter; Wilhelm Herm Müller GmbH und Co.KG. - №4016174.9; заявл. 19.05.90; опубл. 21.11.91. – 11 с.

УДК 621.85.052.44

А.Г. Баханович

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ОСНОВ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Основной задачей научно-технического прогресса в современном машиностроении является создание и внедрение высокоэффективных конструкций машин и механизмов. Ее решение во многом определяется возможностями оснащения создаваемой техники высоконадежными и долговечными приводами.

Ременные передачи являются одними из наиболее распространенных механизмов, и зачастую именно они определяют технический уровень машин в целом. Несмотря на многовековую историю развития ременных передач, только в последнее время удалось создать работоспособные конструкции, объединяющие положительные качества как собственно ременных передач, так и передач зацеплением, например, цепных. Получившие название зубчато-ременных, такие механизмы ввиду своих очевидных преимуществ имеют тенденцию к бурному развитию, вытесняя классические передачи практически из всех областей применения. В абсолютном исчислении общемировой уровень выпуска зубчатых ремней в начале нынешнего века превысил цифру 3 млрд. шт. в год. Наряду с этим, ежегодный прирост потребления ремней составляет 8...10 %.

К числу основных преимуществ передач зубчатым ремнем относятся: