

# Конструкции автоматических бесступенчатых коробок передач легковых автомобилей (АБКП)

Применение в современных автомобилях бесступенчатых АКП позволяет улучшить их топливную экономичность и динамические качества. Преимущества бесступенчатых коробок передач достигается за счет того, что для каждого режима работы автомобиля (скорости  $u$  и сопротивления движению  $\psi$ ) удается подобрать наиболее эффективный вариант работы силового агрегата. Количество возможных режимов при движении в изменяющихся дорожных условиях бесконечно велико. Поэтому ясно, что идеальная работа силового агрегата может быть достигнута, когда столь же бесконечным будет количество ступеней в коробке передач.

В передачах со ступенчатым изменением передаточного числа, как с механическим, так и с автоматическим переключением, на пути увеличения количества ступеней стоит масса трудноразрешимых проблем. Излишнее увеличение числа ступеней приводит к увеличению массы и габаритов коробки передач, усложнению механизмов и алгоритма переключения передач. Многократно увеличить количество передач, одновременно избегая указанных отрицательных последствий, можно, если использовать бесступенчатые передачи, в которых передаточное число изменяется плавно и непрерывно.

В настоящее время известно много типов бесступенчатых передач. Однако многочисленные попытки их использования в автомобильной технике долгое время были безрезультатны. Причина заключается в специфике требований, предъявляемых к трансмиссии автомобиля.

Так для достаточной конкурентоспособности по сравнению с традиционными передачами бесступенчатые передачи должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Обеспечить необходимый диапазон регулирования;
2. Иметь высокий к.п.д. в области преобладающих режимов работы.

Кроме того, автомобильная бесступенчатая передача должна проходить по ряду других жестких параметров: массе и габаритам, технологичности и невысокой стоимости в условиях крупносерийного производства, долговечности и надежности, а также ремонтпригодности.

Из возможных типов бесступенчатых передач, как показали исследования, наиболее привлекательными для использования в автомобильной технике оказались различные типы фрикционных вариаторов, которые в зависимости от способа передачи крутящего момента можно разделить на две основные группы:

- вариаторы с непосредственным контактом, в которых изменение угловой скорости происходит в результате относительного перемещения фрикционных элементов;
- вариаторы с гибкой связью.

Вариаторы первой группы (торовые, многодисковые и др.) имеют существенные недостатки. Они характеризуются значительными контактными напряжениями; им свойственны большие давления на валы и опоры и недостаточная долговечность. В связи с этим указанные вариаторы применительно к автомобильным силовым передачам практически не вышли из стадии экспериментальных исследований. Из наиболее известных работ следует отметить работы фирм British Leyland, Nissan и других с тороидальными вариаторами, которые могут оказаться перспективными.

Вариаторы второй группы (с гибкой связью) имеют достаточно простую конструкцию, а также позволяют сравнительно легко осуществить автоматическое управление в зависимости от условий движения автомобиля.

В настоящее время наибольший прогресс достигнут в создании бесступенчатых вариаторов с гибкой связью как наиболее приспособленных для массового производства. Следует отметить, что именно эти вариаторы в связи с новыми конструкторскими и технологическими решениями переживают интенсивный период дальнейшего развития. Здесь имеется ввиду появление вариаторов с металлическими гибкими элементами, которые способствовали увеличению долговечности и повышению к.п.д..

Типичным представителем этой группы вариаторов является клиноременный вариатор, состоящий из двух пар конических дисков (раздвижных шкивов) и гибкой связи (клинообразного ремня). Кинематическая схема этого механизма достаточно проста. Регулирование величины передаваемого крутящего момента и чисел оборотов достигается путем сдвигания и раздвигания конических дисков.

$$i_{\text{в}} = \frac{r_{e2}}{r_{e1}}$$

При этом передаточное число  $i_{\text{в}}$  равно отношению радиусов, по которым происходит контакт ремня где  $r_{e1}$  – радиус положения ремня на ведущем валу, а  $r_{e2}$  – на ведомом валу.

$$D_x = \frac{i_{\text{max}}}{i_{\text{min}}}$$

Основным кинематическим параметром вариатора является диапазон регулирования

$$i_{\text{min}} = \frac{r_2}{R_1} \quad i_{\text{max}} = \frac{R_2}{r_1} \quad D_x = \frac{R_1 R_2}{r_1 r_2} \quad (1.18)$$

Поскольку  $r_1$  и  $r_2$  – минимальные, а  $R_1$  и  $R_2$  – максимальные радиусы окружностей, по которым происходит контакт ремня с конусными дисками (индекс 1 относится к дискам ведущего вала, а индекс 2 – к дискам ведомого вала).

Здесь  $r_1$  и  $r_2$  – минимальные, а  $R_1$  и  $R_2$  – максимальные радиусы окружностей, по которым происходит контакт ремня с конусными дисками (индекс 1 относится к дискам ведущего вала, а индекс 2 – к дискам ведомого вала).

$$D_x = \frac{R^2}{r^2}, \quad \frac{R}{r} = \sqrt{D_x}$$

Обычно  $r_1 \approx r_2 = r$ , а  $R_1 \approx R_2 = R$  (симметричное регулирование). Поэтому  $D_x = \frac{R^2}{r^2}$ , а  $\frac{R}{r} = \sqrt{D_x}$ . Основываясь на этих простых зависимостях, можно определить габаритные размеры в зависимости от  $D_x$  и значений радиусов  $r$  и  $R$ .

Так, например, межцентровое расстояние вариатора равно:

$$L_{\text{мц}} = 2R + a, \quad \text{где } a = 2-4 \text{ мм}, \quad R = \sqrt{D_x} r^2 \quad (1.19),$$

$$\text{при этом } \frac{R}{r} = \sqrt{D_x}, \quad \frac{r}{R} = \frac{1}{\sqrt{D_x}}$$

#### 1.4.2. Примеры конструкций автоматических бесступенчатых коробок передач с гибкой связью

##### Автоматические бесступенчатые коробки передач фирмы VanDoorneTransmissie – VDT

Начало применению бесступенчатых передач было положено в 1959 г. На автомобиле DAF-600 с двигателем мощностью 16 кВт (22 л.с.) была впервые установлена бесступенчатая передача –а, получившая название Variomatic разработанная голландской фирмой VanDoorne. Регулирование передачи Вариоматик происходило по двум параметрам: частоте вращения коленчатого вала и нагрузке на двигатель, определявшейся разряжением во впускном коллекторе. Трогание автомобиля с места осуществлялось при помощи центробежного сцепления.

Некоторые характерные параметры этой передачи были следующие. Диапазон регулирования  $D_x = 4,33$ ; минимальный радиус изгиба ремня 93 мм. Для передачи максимального момента 85 нм использовались два клиновидных ремня шириной 25 мм. Позже модернизированная передача Variomatic была установлена на автомобиле Volvo 343. По сравнению с механической четырехступенчатой коробкой передач она показала несколько худшие результаты. Увеличение расхода топлива в ездовом цикле составило 10%. Это можно объяснить относительно небольшим диапазоном регулирования и низким к.п.д. бесступенчатой передачи, который составлял максимально 80%. Долговечность ремня соответствовала 50000 км пробега автомобиля.

Дальнейшее расширение диапазона регулирования вариатора было проблематичным, так как минимальный радиус изгиба ремня не удавалось сделать менее 93 мм, а долговечность клинового ремня, как уже отмечалось, не превышала 50000 км пробега. В связи с этим усилия конструкторов и исследователей были направлены на улучшение конструкции гибкой связи и ее характеристик. Многие фирмы проводили и до сих пор ведут активные работы по созданию более прочных клиновых ремней на основе резины с армированием или нитями из синтетических волокон. Однако успех был достигнут на другом направлении.

В начале 80-х годов голландской фирмой VanDoorneTransmissie(VDT) и немецкой фирмой PIV AntriebWernerReimers были разработаны новые конструкции гибких металлических элементов и технологии их производства. Это позволило повысить к.п.д. вариаторов, увеличить их долговечность, а также обеспечить приемлемые габариты и массу.

Поскольку для нормального функционирования бесступенчатой передачи на автомобиле необходимо обеспечить плавное трогание, нейтраль и задний ход, в дальнейшем были проведены работы по совершенствованию

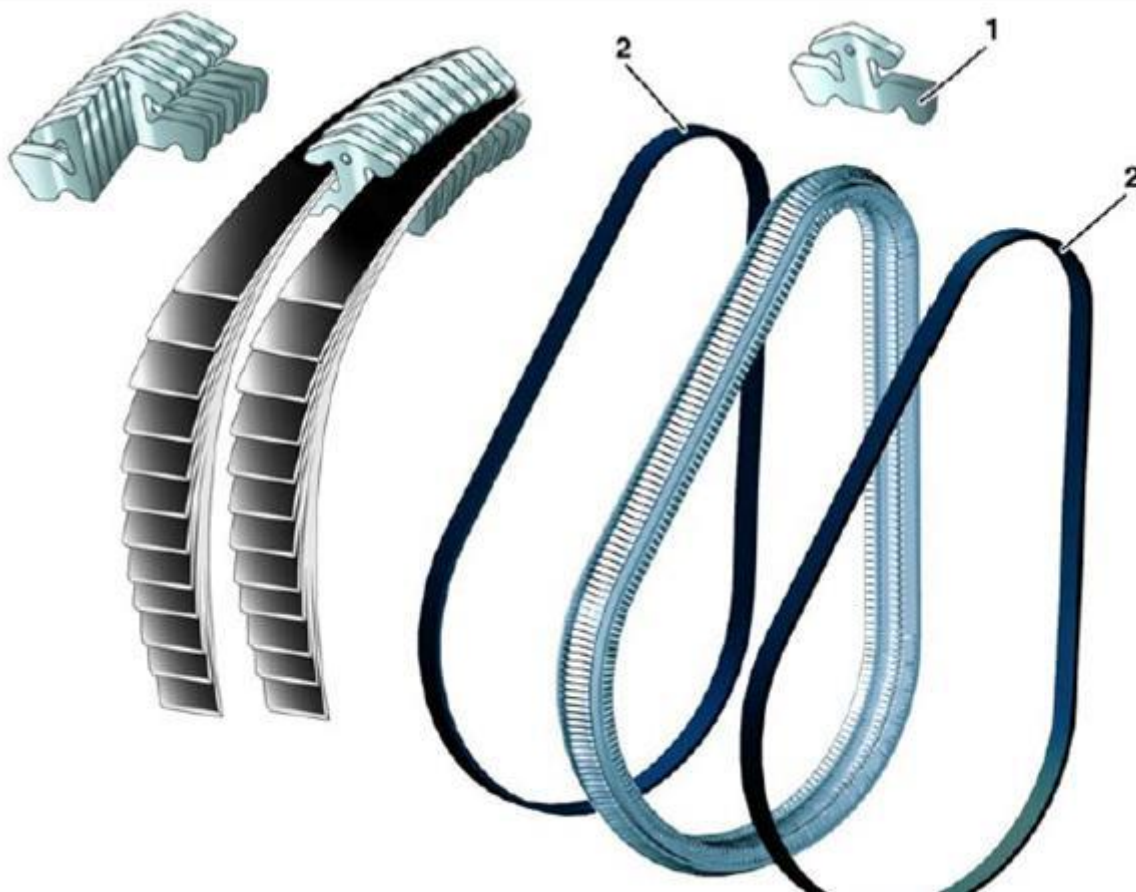
конструкций бесступенчатых коробок передач на основе вариатора Transmatic фирмы VDT. В 1984 г. фирмы Форд и Фиат сообщили об оснащении своих автомобилей Ford Fiesta и FIAT Uno-70 автоматическими бесступенчатыми коробками передач. В этой бесступенчатой коробке передач применен планетарный механизм со сцепленными сателлитами для реализации переднего и заднего хода. Для того чтобы исключить перегрузку вариатора на заднем ходу, передаточное число выбрано равным близким к  $i_{\text{вх}} = -1$ .

Планетарный ряд управляется мокрыми многодисковыми сцеплением и тормозом. За счет буксования этих элементов осуществляется достаточно плавное трогание автомобиля с места.

Поскольку ведомый шкив вариатора вращается в ту же сторону, что и ведущий, требуется согласующая передача, для того чтобы вращение главной передачи с дифференциалом было бы в ту же сторону, что и при обычной механической коробке передач.

Голландская конструкция гибкого элемента, использованная в усовершенствованном вариаторе, получившая название «толкающий элемент», представляет набор тонких трапецидальных металлических блоков, связанных воедино двумя многослойными лентами. Каждая лента состоит из 10 полос мартенситностареющей стали толщиной 0,2 мм. Трапецидальные блоки штампуются из стальной полосы толщиной 2 мм. Собирается гибкий элемент установкой многослойных лент в боковые прорези трапецидальных блоков. Такая конструкция позволяет иметь минимальный радиус изгиба гибкого элемента 30,5 мм.

Устройство гибкого элемента VDT.



К.п.д. усовершенствованной передачи, получившей в дальнейшем название «Transmatic», изменяется от 86% при максимальном передаточном числе до 88-90% при полной мощности. На частичных нагрузках к.п.д. снижается.

Испытания одной из версий бесступенчатой передачи с таким вариатором, которые были проведены в НАМИ, дали следующие результаты. Максимальный к.п.д. приходится на зону передаточных чисел, эквивалентную 2-ой - 3-ей передачам механической коробки передач (1.6-2.2). При этом передаточное число вариатора близко к 1,0. Смещение  $i_{\text{в}}$  от 1,0 в обе стороны снижает к.п.д. Так, при номинальной нагрузке 80 Нм и передаточном числе вариатора 1,0 (эквивалентное передаточное число МКП- 1,8) к.п.д. составляет 90%, а при  $i_{\text{в}} = 0,5$  (0,88 соответственно) к.п.д. снижается до 0,87. К.п.д. передачи также зависит и от передаваемого крутящего момента. Так, например, из этого графика видно, что с уменьшением  $M_k$  величина к.п.д. существенно снижается.

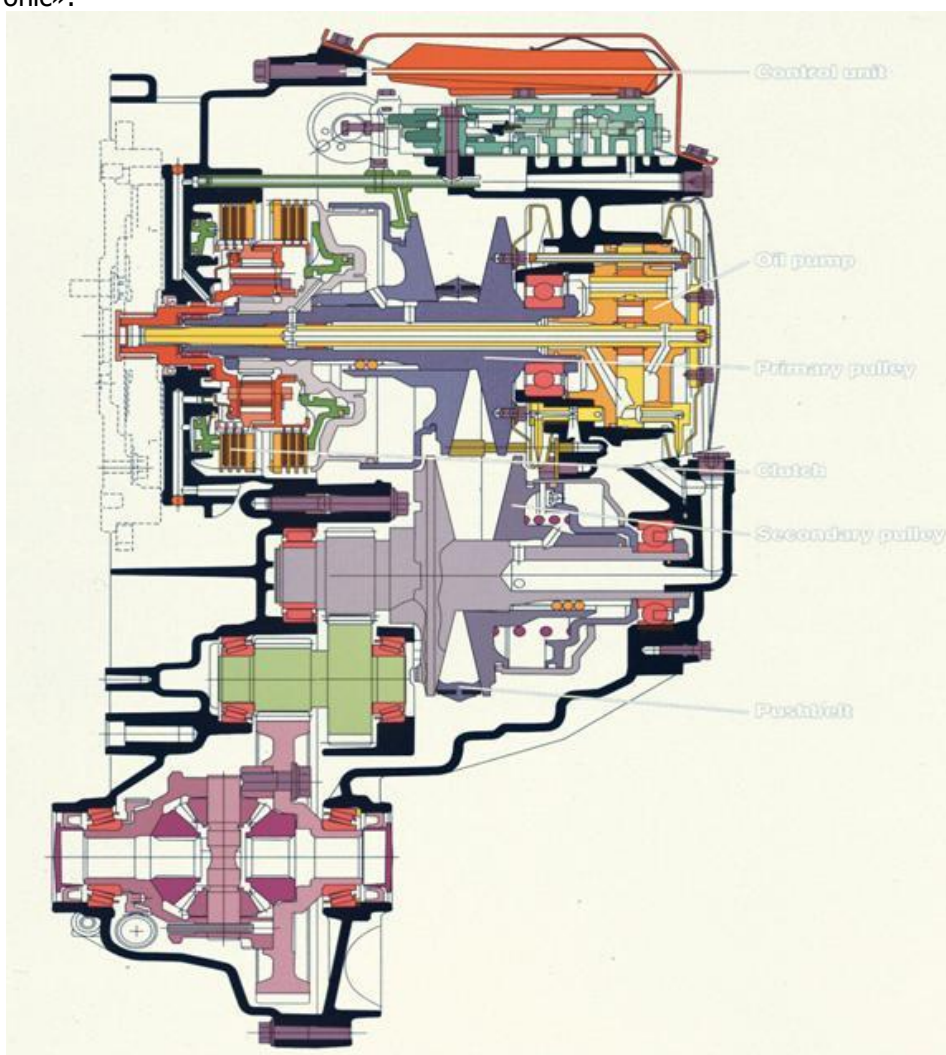
Усовершенствованным вариатором заинтересовались ведущие автомобильные фирмы Японии, Америки и Европы. В конце 90-х годов многие японские фирмы (Nissan, Honda, Suzuki, Subaru) использовали описанный вариатор на автомобилях с двигателями до  $M_e = 100$  л.с., которые выпускались небольшими сериями. В Европе указанный вариатор использовался на малолитражных автомобилях Ford Fiesta  $M_e = 75$  л.с. В Европе значительный интерес к работам в этой области проявила также фирма ZF, известная своими достижениями в области автоматических трансмиссий.

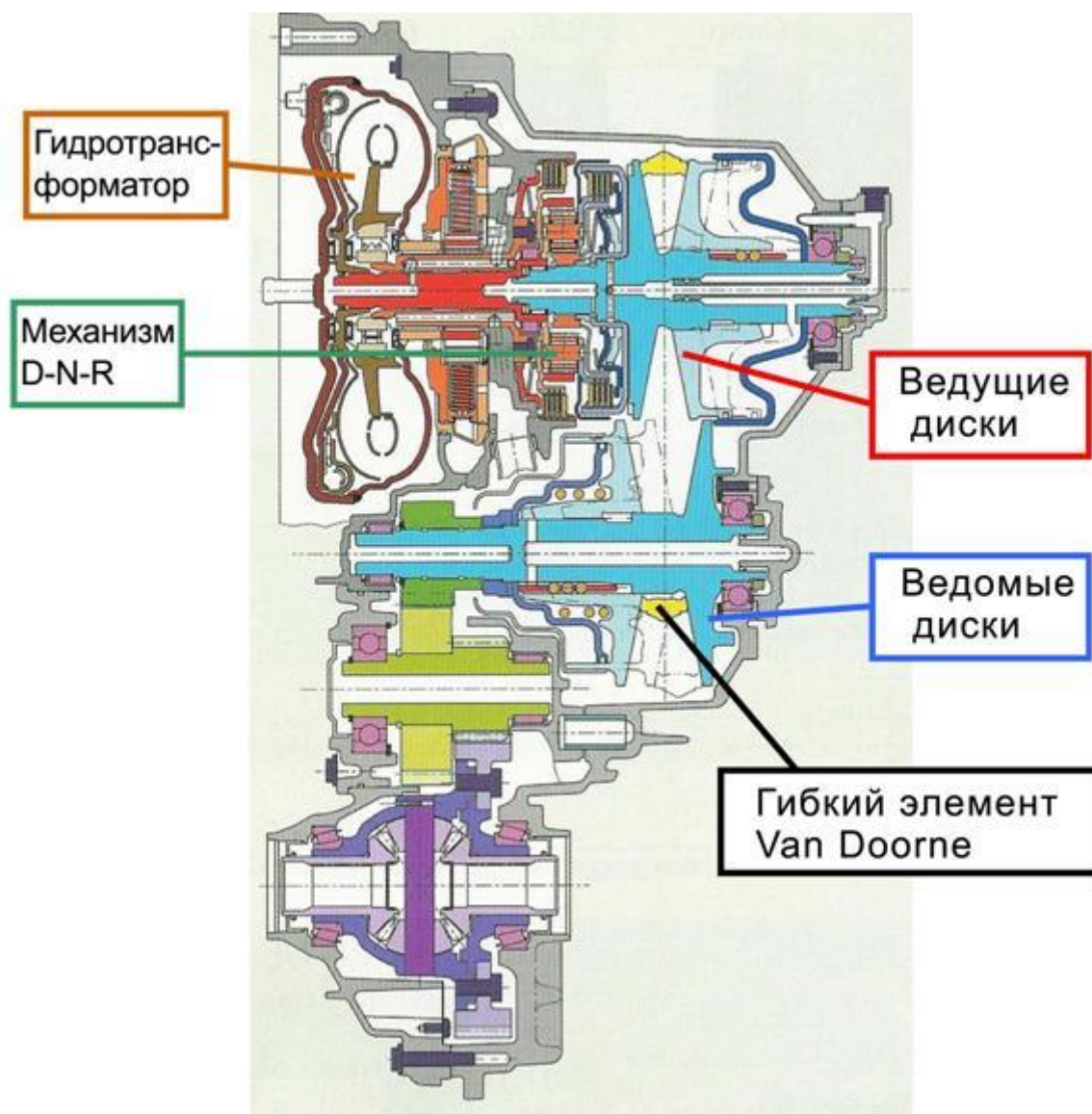
### АБКП фирмы ZF

Бесступенчатые автоматические коробки передач (АБКП), разработанные фирмой ZF на основе вариатора Transmatic, отличаются улучшенной компактной конструкцией, при этом намечается реализация нескольких типоразмеров этой конструкции с входным моментом от 130 Нм до 350 Нм и мощностью от 70 до 250 л.с. В исполнении фирмы ZF эта АБКП получила название - «Ecotronic». Характеристики различных модификаций АБКП «Ecotronic» приведены в табл. Фирма ZF предлагает АБКП «Ecotronic» для переднеприводных автомобилей с поперечным расположением двигателя в четырех вариантах. Они имеют различные массогабаритные показатели и диапазон регулирования (от 5,45 до 5,82). Необходимо отметить, что в конструкции АБКП «Ecotronic», рассчитанных на передачу большого крутящего момента, и, соответственно, предназначенных для более дорогих и мощных автомобилей, используется гидротрансформатор. Несмотря на то, что применение гидротрансформатора усложняет конструкцию, а также несколько увеличивает габариты, этим решается ряд важных проблем. Гидротрансформатор обеспечивает более плавное трогание и снижает время перехода с минимального передаточного числа на максимальное (режим кик-даун). Отсутствие рывков и ударных нагрузок увеличивает ресурс вариатора, способствует повышению проходимости автомобиля и комфорта вождения.

Регулирование передаточного числа вариатора осуществляется гидравлической системой управления. Рабочее давление жидкости создает масляный насос, приводимый от первичного вала. Подвижные части ведущего и ведомого конических дисков, являющиеся одновременно поршнями гидроцилиндров, перемещаются под действием давления жидкости. Отметим, что в целом гидравлические системы для управления изменением передаточного числа вариаторов несколько проще по сравнению с гидравлическими системами АКП планетарными редукторами. Это связано с тем, что в них меньше управляющих устройств (клапанов, гидроаккумуляторов). В тоже время рабочее давление жидкости в АБКП обычно выше, чем в автоматических коробках передач с планетарными редукторами.

Разрез АБКП «Ecotronic».





Представление о топливной экономичности АКБП «Ecotronic» дают следующие данные. По своим показателям эта бесступенчатая передача примерно соответствует лучшим 4-ступенчатым АКП, но несколько уступает пятиступенчатым АКП несмотря на то, что диапазон регулирования у нее даже несколько больше; она также уступает пятиступенчатому механическому коробку передач на 5-7% в смешанных ездовых циклах. Это связано с тем, что к.п.д., вариатора несколько ниже, чем у зубчатых передач, используемых в механических коробках передач. Кроме того, дополнительное снижение к.п.д. происходит по причине отбора мощности для привода масляного насоса высокого давления в системе управления. На рис. 1.22 приведен общий вид одной из модификаций автоматической бесступенчатой коробки типа Ecotronic (CFT-23) выпуска 2004 г., которая используется на автомобилях FordFocusC-Max, где может применяться также и дизельный двигатель с крутящим моментом до 260 Нм, а вариатор имеет  $D_k \approx 6.0$ .

### АКБП (с металлической цепью) фирмы Audi

Другой тип вариатора, о котором уже упоминалось выше, предусматривает использование в качестве гибкой связи металлическую цепь с малым шагом. Как уже отмечалось, работы по созданию цепного вариатора были начаты фирмой PIV еще в начале 80-х годов. В дальнейшем эти работы получили развитие в работах концерна Audi-Volkswagenс участием фирмы LuK применительно к автомобилям Audi. Фирма PIV предложила для своего вариатора особую цепь с малым шагом. Звенья цепи собраны из штампованных пластин, соединенных между собой осями, которые при изгибе цепи работают как шарнирные пары качения. Крутящий момент передается торцевыми поверхностями осей звеньев при их точечном контакте с коническими дисками. Применение точечного контакта обуславливает появление высоких контактных напряжений, что может приводить к износу. Чтобы выдерживать высокие напряжения в точечном пятне контакта торцевых поверхностей конусных дисков и осей цепи, в качестве материала для их изготовления служит подшипниковая сталь типа ШХ15, которая после термообработки имеет твердость порядка 1000 НВ. Цепь обеспечивает минимальный радиус изгиба 25-28 мм, что способствует уменьшению габаритов вариатора.

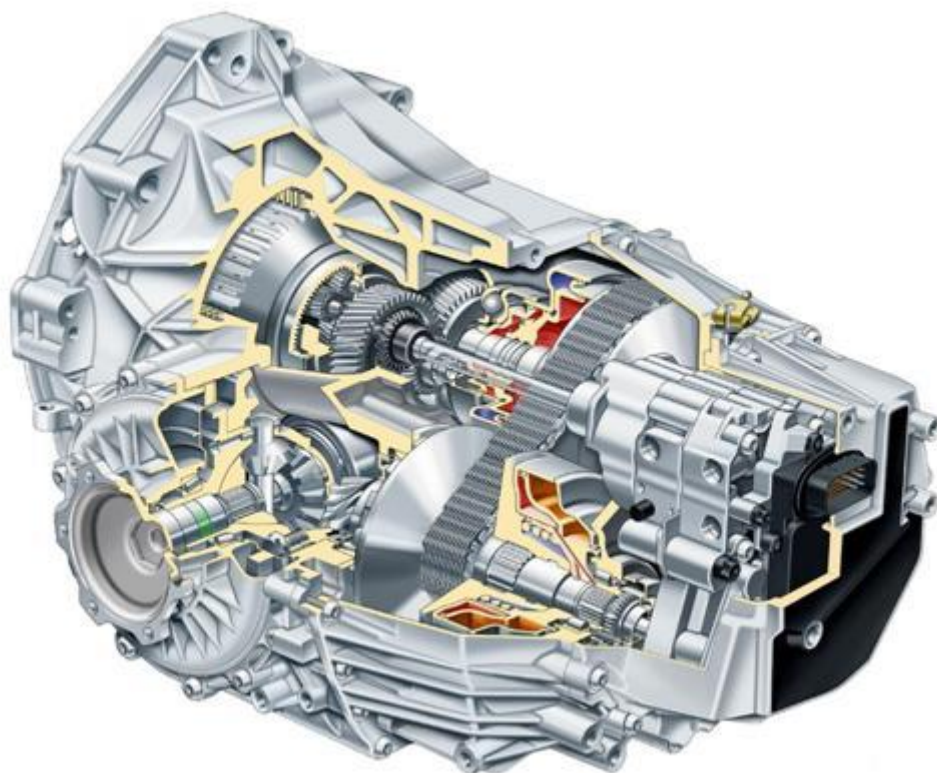
Этим преимуществами цепного вариатора не ограничиваются. Его конструкция обеспечивает меньший уровень потерь, что определяется незначительным силовым скольжением в пятне контакта и элементах цепи.

Сравнительные испытания вариаторов PIV и Transmatic, проведенные фирмой PIV, показали преимущества цепного вариатора, который имел более высокий к.п.д., особенно при малых нагрузках .

Результатом проведенных работ явилась экспериментальная АБКП для переднеприводного легкового автомобиля концерна Volkswagen. Диапазон регулирования был равен  $D_k = 5,5$ ; масса 45 кг и межцентровое расстояние 142 мм. Роль сцепления в данной конструкции выполняет гидротрансформатор. Механизм реверса представляет планетарный редуктор, управляемый с помощью фрикционной муфты (передний ход) и ленточного тормоза (задний ход). Вариатор состоит из конических дисков, установленных на ведущем и ведомом валах, металлической цепи, гидроцилиндров управления дисками и главной передачи, компактно размещенных в одном блоке. Одновременно была усовершенствована система управления, которая позволяла регулировать силу сжатия между конусными дисками и цепью. Это позволяло увеличить долговечность деталей вариатора, который после 150 тыс. км пробега находился в удовлетворительном состоянии.

В дальнейшем внимание концерна Volkswagen было перенесено на другой объект — автомобили Audi. Применительно к указанному объекту в 1999 г. разработано несколько модификаций АБКП, получивших название Multitronic, которые предназначались для работы с двигателями мощностью 100-155 кВт (130-200 л.с.) и крутящим моментом  $M_k = 200-330$  нм. Новые автоматические бесступенчатые коробки передач цепным вариатором имели диапазон регулирования = 6,0-6,2, что позволяло реализовать высокие динамические качества и топливную экономичность. Передаточное число вариатора, использованного на автомобиле Audi A6, изменялось от  $i_{max} = 2,4$  до  $i_{min} = 0,4$ ;  $D_k = 6,0$ . По сравнению с пятиступенчатыми механическими коробками передач указанный автомобиль в ездовом цикле показал лучшую экономичность: расход топлива 9,7 л/100 км против 9,9 л и лучшую динамику: разгон до 100 км/час за 8,1 сек против 9,9сек. По-мимо хорошей экономичности заслугой АБКП Multitronic можно считать то, что она впервые расширила область практического применения бесступенчатых передач в сторону двигателей с крутящим моментом до 330 нм.

Вид АБКП Multitronic.



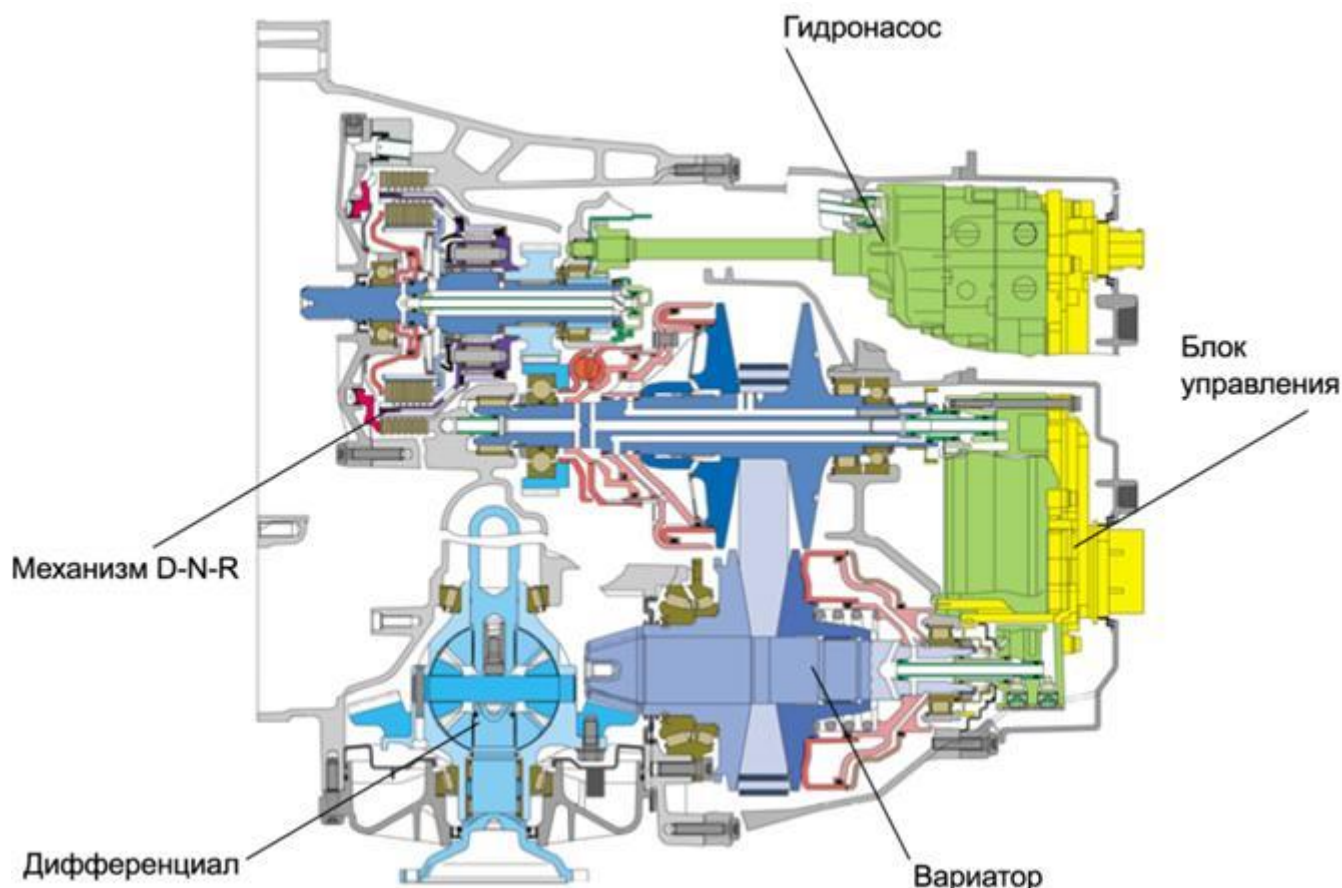
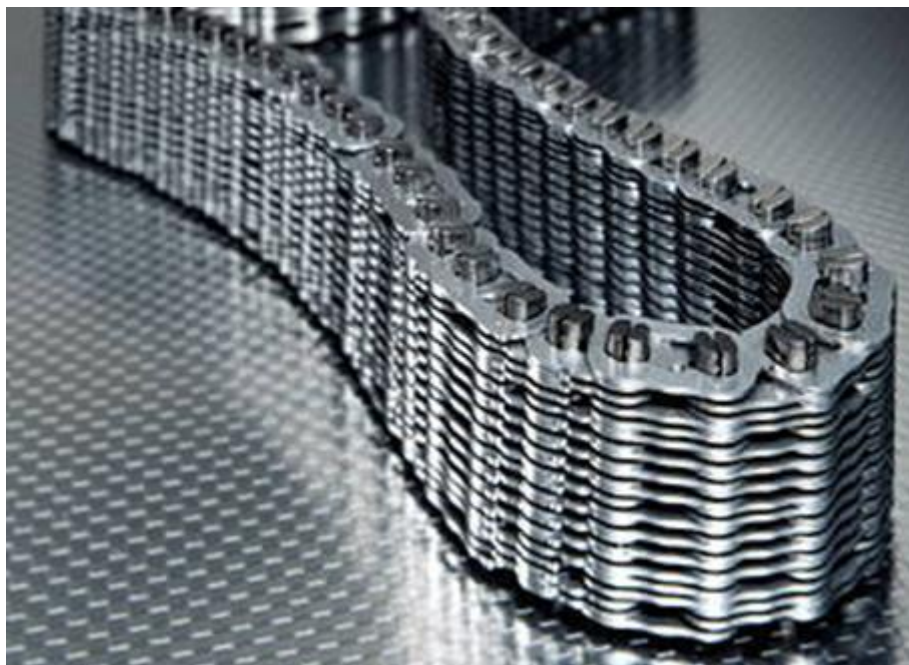


Рис. 1.27. гибкий элемент – цепь АБКП Multitronic

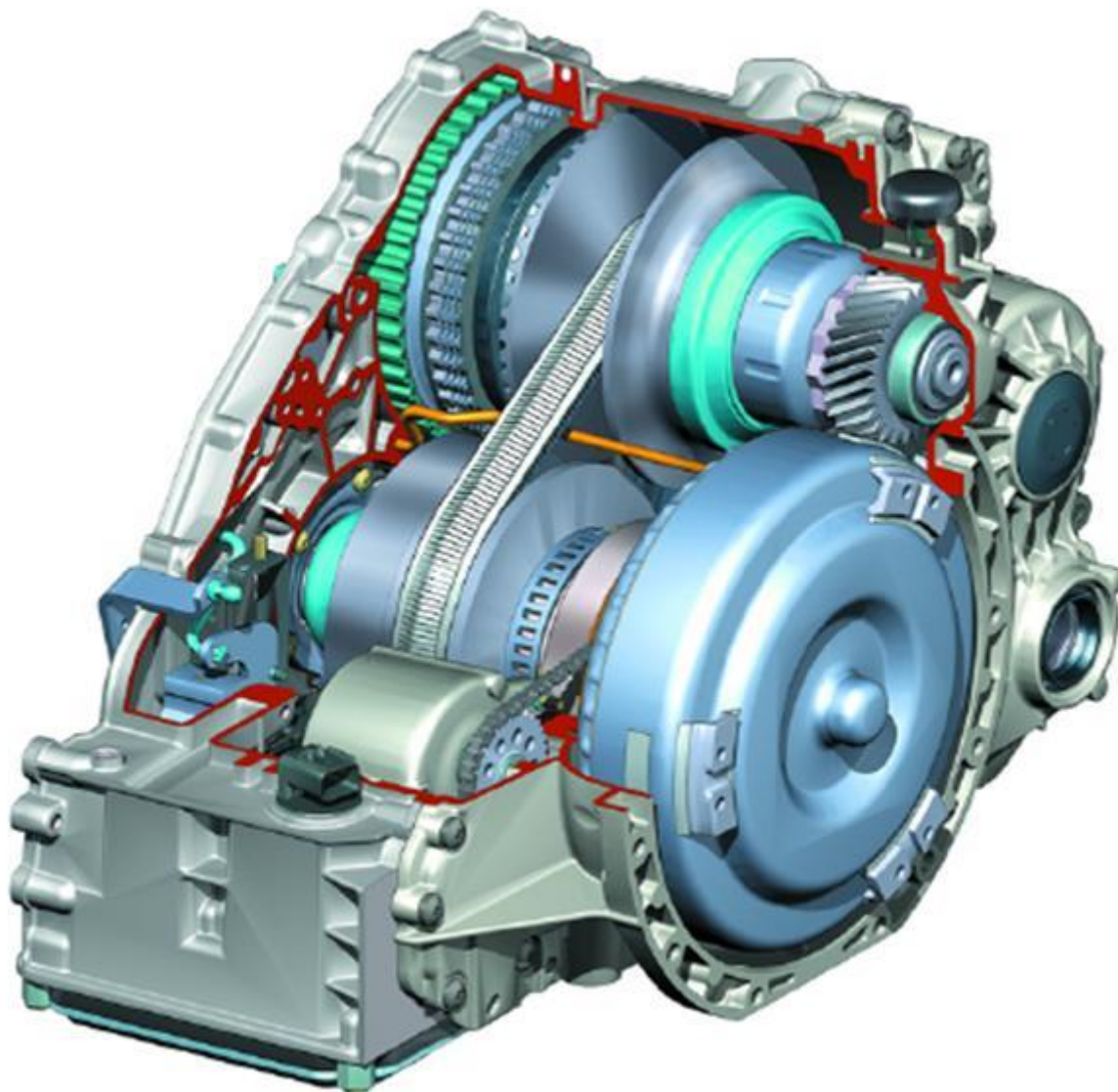


Как видно из представленных материалов, «Multitronic» включает планетарную передачу для реализации переднего и заднего хода, одну пару паразитных шестерен, позволяющих сместить вариатор в сторону, что облегчает размещение конической главной передачи для привода передних колес. Конструкция, однако, представляется несколько громоздкой и возможно имеет резервы для дальнейшего совершенствования. Планетарная передача для реализации переднего и заднего хода выполнена по примерно той же схеме, которая использована в АБКП «Ecotronic».

## АБКП фирмы Mercedes (версия MB-722.8)

В 2004 г. фирма Mercedes завершила работы по созданию автоматической бесступенчатой коробки Autotronic для новых автомобилей малого А- и В-класса с двигателями мощностью 100 кВт. В этой АБКП используется гибкий элемент типа VanDoorne, но кинематическая схема имеет ряд отличий от ранее рассмотренных.

Общий вид АБКП Mercedes 722.8.



Масляный насос системы управления приводится при помощи цепной передачи. Насос пластинчатый, двухсекционный. Первая секция работает постоянно, вторая секция работает при полной нагрузке, когда требуется высокое давление. В остальное время секция отключена путем соединения всасывания этой секции с нагнетанием. Это позволяет сократить затраты мощности на привод насоса.

Представленные материалы свидетельствуют о том, что в последнее время многие ведущие фирмы проводят большие работы по оснащению автомобилей малого и среднего класса (с передним приводом) автоматическими бесступенчатыми коробками передач. Это, по-видимому, связано с тем, что масса этих коробок передач меньше массы автоматических планетарных и вальных коробок передач примерно на 15-20 кг. При этом масса АБКП превышает вес обычных механических коробок передач также на 15-20 кг. Кроме того, в автоматических бесступенчатых передачах можно реализовать кинематический диапазон в пределах  $D_k = 5,5-6,0$ , и даже 7, что способствует улучшению динамических качеств автомобиля и его топливной экономичности.

На большинстве современных автоматических бесступенчатых передачах обычно имеется и ручной режим с 6-7 фиксированными положениями. Для реализации этого режима гибкий элемент имеет ряд фиксированных положений; при поступлении команды на изменение передаточного числа гибкий элемент перемещается из одного положения в другое. Однако благодаря совершенной системе автоматического управления этот режим практически не используется.

Следует отметить, что за последние годы число моделей автомобилей с бесступенчатыми автоматическими коробками существенно увеличилось: среди них автомобили таких известных фирм, как Audi, Ford, Mercedes, Nissan, Honda и другие, причем эти фирмы предлагают потребителю на один и тот же автомобиль разные варианты автоматических коробок, как ступенчатых, так и бесступенчатых.



Приведенные материалы позволяют уже сейчас рассматривать описанные выше автоматические бесступенчатые коробки как серьезных конкурентов пяти- и шестиступенчатым АКП в области двигателей вплоть до 160 кВт (220 л.с.). Однако необходимо учитывать и ряд других обстоятельств. Поскольку привлекательность той или иной автоматической трансмиссии определяется еще и такими факторами, как стоимость, надежность и ремонтпригодность, сделать выводы на данной стадии развития о конкурентоспособности ступенчатых и бесступенчатых автоматов затруднительно.

Трансмиссии с торовыми вариаторами.

Торовый вариатор был изобретен Чарльзом В. Хантом (США) и запатентован им 27 ноября 1877 г. С тех пор был разработан ряд трансмиссий на основе этого вариатора. Почти все эти трансмиссии были выпущены в небольшом количестве (например, в 1930 г. фирмой Austin было произведено и продано 600 автомобилей York с торовым вариатором Austin-Hayes, см. рис. 1.30.), а некоторые не пошли в производство вообще.

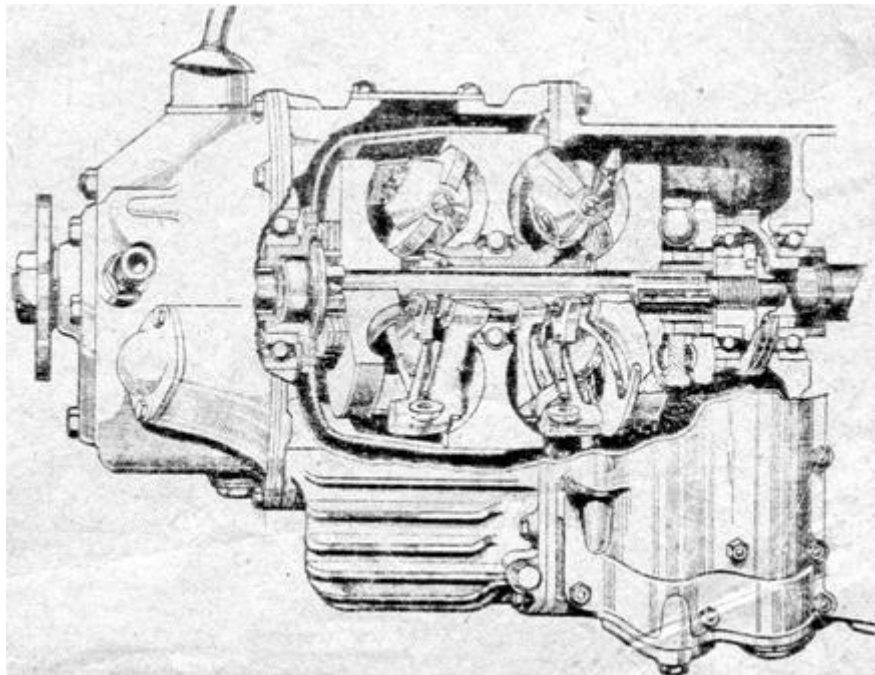


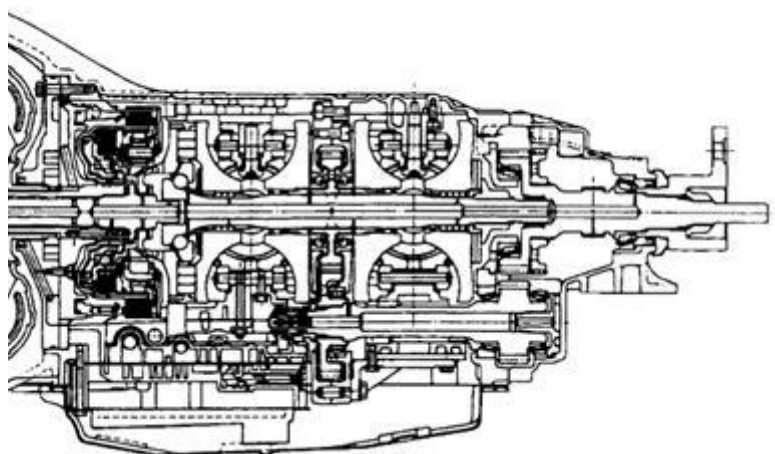
Рис.1.30. Трансмиссия Austin-Hayes.

В конце 1940-х гг. английский конструктор Форбс Перри разработал на основе трансмиссии Austin-Hayes новую конструкцию, которая получила название Perbury. Впоследствии усовершенствованием этой трансмиссии занималась фирма Leyland (Великобритания). В настоящее время правопреемница Leyland – компания Torotrak готовит к производству свою коробку передач, основанную на конструкции Perbury. Необходимо добавить, что передача Перри нашла применение в авиатехнике: в течение нескольких лет Perbury успешно использовалась в составе генератора переменного тока на истребителе Harrier

Jump-jet.

В СССР исследованиями торовых передач занимался ряд институтов: ЦНИТМАШ, ЭНИМС, НАМИ, Академия им. Жуковского, ВНИИМЕТМАШ. Эти институты разрабатывали вариаторы для бесступенчатых редукторов, используемых в приводе промышленных машин и станков.

Единственным примером трансмиссии с торовой передачей, которая устанавливалась на массовые модели автомобилей, является Nissan Extroid. Она была разработана японской компанией NSK в 1999г., а выпускалась фирмой Jatco.



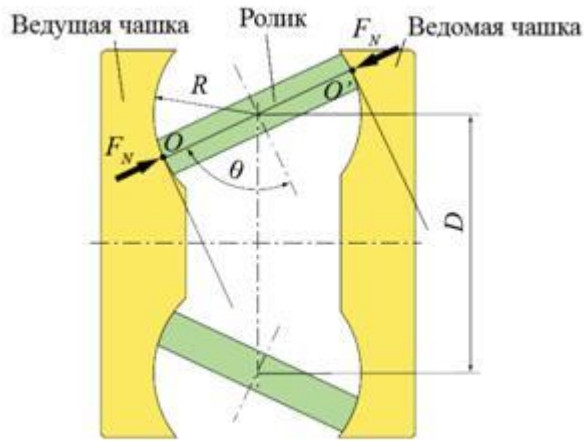
До настоящего времени торовые вариаторы не получили широкого распространения в автомобильных трансмиссиях. Но это не говорит о том, что их конструкция неудачна. Напротив, они отличаются от передач с гибкой связью более высоким КПД и значительной грузочной способностью. Препятствием для распространения

торовых вариаторов до последнего времени был недостаточный уровень технологии. Но с появлением фрикционных масел и развитием электроники многие проблемы, свойственные этим передачам были решены. И возможно в ближайшее время они начнут появляться в автомобилях серийного производства.

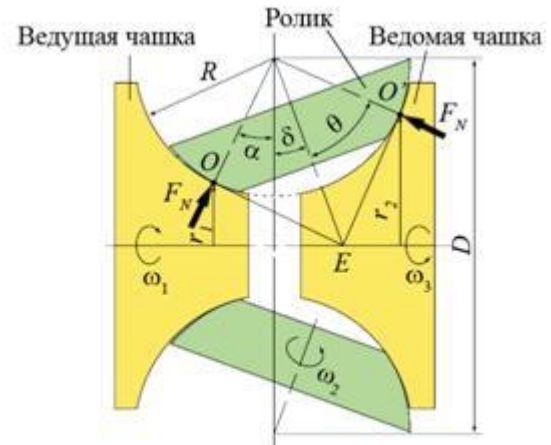
Торовые вариаторы бывают двух типов: с диаметральной расположением роликов и с хордальным расположением роликов. Принцип работы их одинаков: к ведомой чашке приложен нагружающий момент (например, она связана через карданный вал и главную передачу с ведущими колесами автомобиля). Крутящий момент двигателя подводится на ведущую чашку вариатора. Если чашки и ролики прижаты друг к другу в осевом направлении, то в контактах между ними возникают касательные силы (они перпендикулярны плоскости рисунка). На ведущей чашке эти силы пытаются вращать ролики вокруг их осей, а на ведомой касательные силы сопротивления препятствуют вращению роликов. Таким образом вариатор передает крутящий момент. Передаточное отношение вариатора определяется отношением радиусов качения ролика на ведомой и ведущей

$$i = \frac{r_2}{r_1}$$

чашке: . Соответственно, для изменения этого отношения необходимо поворачивать ролики на угол.



(а) Торový вариатор с диаметральной расположением роликов



(б) Торový вариатор с хордальным расположением роликов

Схемы торových вариаторов диаметрального (а) и хордального (б) типов

Вид торовой АБСТ ZF.

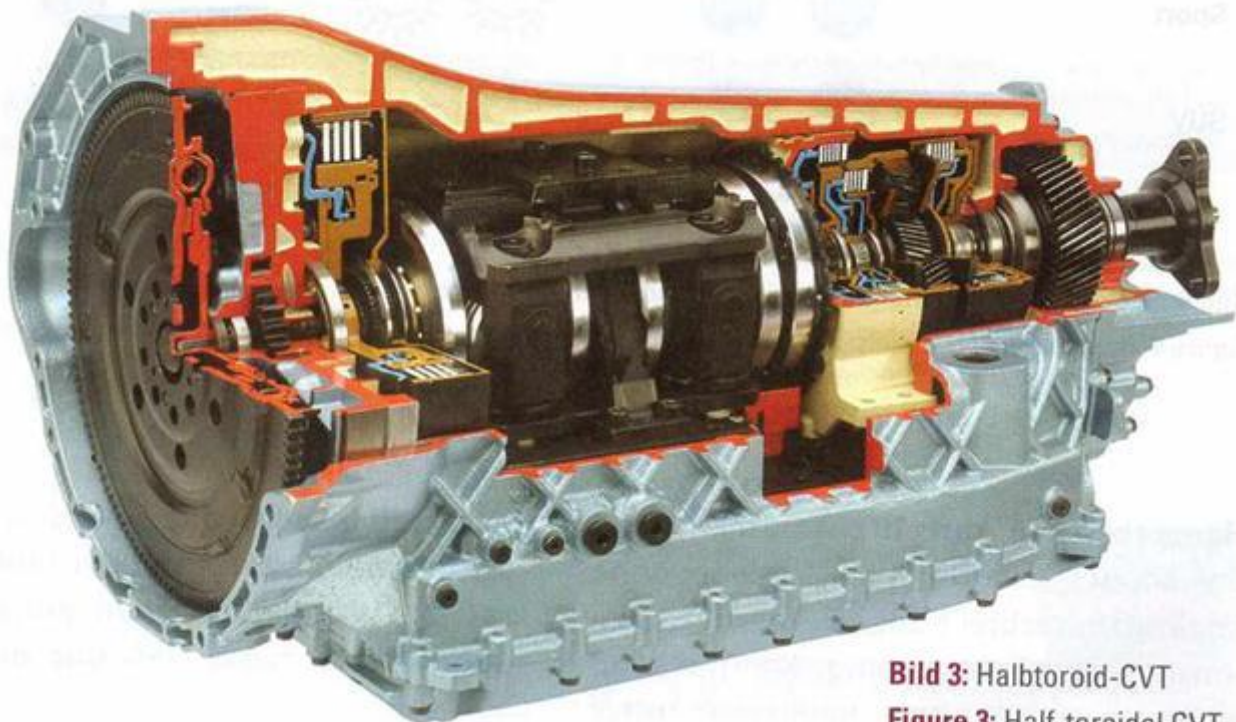


Bild 3: Halbtoroid-CVT

Figure 3: Half-toroidal CVT