

**Из отчета, подготовленного сотрудниками Центра АТ МАИ, к договору по теме:
"Разработка Автоматических Трансмиссий для автомобилей класса "С".**

Оглавление:

- [Введение](#)
- [Планетарные АКП](#)
- [Вальные АКП](#)
- [Безступенчатые КП](#)
- [Конструкция планетарных автоматических коробок передач легковых автомобилей.](#)
- [Оценка топливной экономичности и динамических качеств автомобилей с АКП.](#)
- [Статистические данные о производстве автоматических трансмиссий различных типов](#)

Введение

В силовых передачах автомобилей различных типов все более широкое применение получают автоматические коробки передач. Обычная механическая коробка передач, работающая с фрикционным сцеплением, не является идеальным вариантом. Ее основной недостаток - необходимость ручного переключения передач, что серьезно утомляет водителя, особенно в условиях напряженного городского движения. Так, в условиях интенсивного городского движения водителю легкового автомобиля на каждые 100 км пройденного пути приходится 800-900 раз нажимать на педаль сцепления и столько же раз переключать передачи, то есть в среднем делать одно переключение каждые 30-40 сек.

Вторым недостатком обычной механической коробки передач является то, что при ее использовании двигатель часто работает на малоэкономичных режимах, так как время на переключение передач ограничено, и водитель не всегда может своевременно переключить нужную передачу. В результате этого во многих случаях не обеспечиваются высокие топливная экономичность и тягово-динамические качества автомобиля.

Использование автоматической коробки передач позволяет устранить отмеченные недостатки, существенно облегчает управление автомобилем, уменьшает утомляемость водителя, что способствует повышению безопасности движения.

В настоящее время примерно 50-55% выпускаемых легковых автомобилей снабжается автоматическими коробками, причем в США этот процент выше и составляет 85-90%, а в Японии – 80%.

Современная автоматическая коробка передач состоит из трех основных частей: 1) гидродинамической передачи (гидротрансформатора) или автоматического сцепления, которые обеспечивают плавное начало движения автомобиля;

2) механической ступенчатой или бесступенчатой коробок передач, при помощи которых изменяется передаточное число, т.е. происходит преобразование момента двигателя и достигается изменение тягового усилия и скорости автомобиля;

3) Системы автоматического управления, которая изменяет передаточное число в зависимости от условий движения.

Отметим, что частично преобразование момента осуществляется также и гидротрансформатором, что способствует уменьшению количества передач и числа переключений.



Под автоматическим сцеплением понимается сцепление мокрого типа, диски которого работают в масле, а величина передаваемого крутящего момента регулируется давлением масла на эти диски при помощи автоматической системы управления.

Механические ступенчатые коробки передач подразделяются на две группы: планетарные и вальные, т.е. с неподвижными осями валов. Как вальные, так и планетарные коробки передач имеют несколько фрикционных элементов для включения передач. Наиболее широкое применение получили планетарные коробки передач (до 94-95%), которые более удобны с точки зрения увеличения количества передач и управления ими. Однако на некоторых автомобилях малого класса (Honda, Mercedes) находят применение и вальные коробки передач, которые обладают в некоторых случаях компоновочными преимуществами, так как позволяют уменьшить длину коробки, что иногда облегчает их размещение на переднеприводных автомобилях с поперечным расположением двигателя. Вальные автоматические коробки передач получили меньшее распространение.

Бесступенчатые коробки передач получили пока ограниченное применение (5-8%). Они используются в основном на легковых автомобилях малого класса с передним приводом (Honda, Toyota, Nissan и др.), а в последнее время и на автомобилях среднего класса (Audi, Nissan, Opel). В этих бесступенчатых коробках для изменения передаточного числа используются вариаторы с гибкой связью клиноременного типа. Однако клинообразный ремень с целью повышения долговечности в этих вариаторах заменен гибкими стальными лентами или цепными передачами специальной конструкции. Благодаря ряду усовершенствований в последнее время оказалось возможным улучшить топливную экономичность и тягово-динамические качества автомобилей с этими бесступенчатыми коробками передач, в связи с чем можно ожидать расширения их производства.

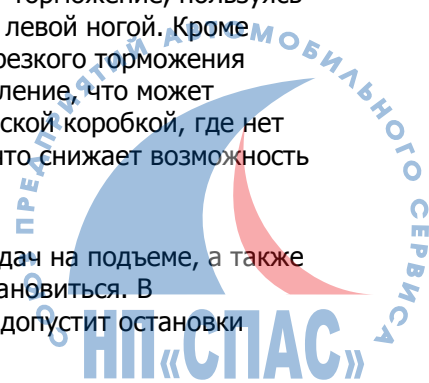
Все современные автоматические коробки передач обеспечивают переключение передач (или изменение передаточного числа) без разрыва потока мощности. Поэтому по конструкции они существенно отличаются от обычных механических коробок передач, в первую очередь, наличием фрикционных элементов, при помощи которых происходит переключение передач, или наличием вариаторов (в бесступенчатых коробках). Переключение передач без разрыва потока мощности позволяет лучше использовать мощность двигателя, что особенно важно в условиях движения по бездорожью.

По сравнению с обычной коробкой передач, автоматическая коробка обладает следующими преимуществами:

1. В процессе движения автомобиля с автоматической коробкой передач для изменения скорости используются только две педали: педаль акселератора и педаль тормоза. Педаль сцепления отсутствует. Для управления автоматической коробкой передач в салоне установлен рычаг (селектор). Он может быть расположен на полу сбоку от водителя или на рулевой колонке и предназначен для включения переднего хода, заднего хода, нейтрали и некоторых других режимов работы трансмиссии. После включения переднего хода (положение «D») в обычных, наиболее распространенных, условиях движения селектором пользоваться не приходится, а дальнейшие переключения происходят автоматически.

2. Автоматическая коробка передач также упрощает процесс торможения автомобиля. На автомобиле с механической коробкой при торможении приходится пользоваться двумя педалями – сцепления и тормоза, причем необходимо переносить ногу на педаль тормоза с педали акселератора. При наличии автоматической коробки водитель осуществляет торможение, пользуясь одной широкой педалью, которая удобна для торможения как правой, так и левой ногой. Кроме того, при обычной механической коробке передач в случае необходимости резкого торможения водители из-за боязни заглушить двигатель часто тормозят, выключив сцепление, что может привести к заносу автомобиля, особенно на скользкой дороге. С автоматической коробкой, где нет педали сцепления, колеса автомобиля остаются связанными с двигателем, что снижает возможность заноса автомобиля.

При трогании с места с обычной коробкой передач, при переключении передач на подъеме, а также при движении с малой скоростью в некоторых случаях двигатель может остановиться. В автоматической коробке гидротрансформатор во всех случаях движения не допустит остановки



двигателя. Даже при откате автомобиля вниз на подъеме достаточно нажать на педаль акселератора, чтобы остановить автомобиль, а затем заставить его двигаться вперед.

2. Гидротрансформатор также повышает проходимость автомобиля по снегу, песку и другим непрочным грунтам и т.д., обеспечивая на ведущих колёсах устойчивую силу тяги и любые малые скорости их вращения, увеличивая тем самым сцепление колес с дорогой. Кроме того, согласно проведенным в НАМИ испытаниям, установлено следующее. При движении по неровной дороге максимальная амплитуда колебаний крутящего момента на карданном валу автомобиля с гидротрансформатором существенно меньше, чем у автомобиля с механической коробкой, причем при механической коробке передаточных амплитуды колебаний почти в два раза могут превышать максимальный момент двигателя. Также было установлено, что при трогании с места автомобиля с обычной механической коробкой передач на снежной целине крутящий момент для преодоления сопротивлений в 1,3-2 раза больше, чем при трансмиссии с гидротрансформатором. Во время испытаний на снежной целине автомобиль с механической коробкой передач почти во всех случаях трогался с места с пробуксовкой ведущих колес, вызывая углубление колеи и тем самым, увеличивая сопротивление движению. Было также установлено, что из ста заездов в сложных дорожных условиях автомобиль с гидротрансформатором в 87 заездах показал лучшие результаты, чем автомобиль с механической коробкой, а в 13 заездах результаты были одинаковы. Таким образом, наличие гидротрансформатора способствует улучшению проходимости автомобиля, а также повышает срок службы двигателя и трансмиссии, особенно при движении в напряженных городских условиях или в условиях пересеченной местности.

3. Остановимся еще на одном аспекте. Как уже указывалось, при интенсивном городском дорожном движении или при движении по пересеченной местности, приходится на каждые 100 км пути 800-900 раз выжимать сцепление и примерно через 30-40 сек. переключать передачи. Это приводит к повышенной утомляемости водителя и ухудшению его самочувствия, а также к увеличению ошибок при вождении автомобиля. Проведенные сравнительные исследования показали, что у водителей автомобилей с обычными механическими коробками передач в среднем на 10% увеличивается частота пульса, увеличивается также частота дыхания и уменьшается содержание кислорода в крови, по сравнению с водителями, которые управляют автомобилями с автоматическими коробками передач. Таким образом, наличие автоматической коробки способствует улучшению самочувствия водителя и сохранению его здоровья, а также повышает безопасность движения, так как водитель меньше утомляется и может больше внимания обращать на дорогу, не отвлекаясь на переключение передач.

Основными недостатками автоматических коробок передач являются: сложность конструкции, увеличенная масса и габариты, а также увеличенные потери мощности, обусловленные обслуживанием автоматической системы управления, т.е. приводом масляных насосов, а также потерями на трение в дисках выключенных сцеплений и наличием дополнительных потерь в гидротрансформаторе.

В реальных условиях эксплуатации можно полагать, что топливная экономичность автомобилей с автоматическими и механическими коробками передач примерно одинакова из-за ошибок, которые допускает среднестатистический водитель при управлении механической коробкой передач и связанных главным образом с неправильным выбором моментов переключения передач.

Вместе с тем следует признать, что при испытаниях в стандартных ездовых циклах до последнего времени показатели легковых автомобилей с механическими коробками передач были лучше, чем у тех же автомобилей с автоматическими коробками передач, что объясняется наличием дополнительных потерь, указанных выше. Однако в последнее время в связи с созданием более совершенных автоматических коробок передач ситуация стала изменяться. Применение электронно-гидравлических систем управления, а также расширение силового и кинематического диапазона автоматических коробок передач при рациональном выборе главной передачи позволило на некоторых моделях легковых автомобилей улучшить топливную экономичность на 2-5% в ездовых циклах по сравнению с теми же автомобилями, которые имеют механическую коробку передач.

Ввиду целого ряда преимуществ в автоматических передачах современных легковых автомобилей наиболее широкое применение получили планетарные коробки передач. Их основные преимущества заключаются в следующем.



1. В планетарной передаче все ее основные звенья вращаются вокруг оси, что позволяет создать достаточно компактную конструкцию.
2. Планетарные передачи позволяют передавать относительно большую мощность по сравнению с другими передачами и отличаются увеличенной долговечностью. Это объясняется тем, что в них отсутствуют радиальные нагрузки на опоры валов, а крутящий момент передается несколькими сателлитами, что значительно снижает контактные и изгибные напряжения зубьев.
3. В планетарных передачах обычно можно добиться более плавного переключения передач, практически без разрыва мощности, а сам процесс переключения осуществлять достаточно быстро. Это связано с более удобным расположением элементов планетарного ряда для организации системы управления.
4. К.п.д. в зубчатых планетарных механизмах обычно несколько выше, чем в вальных передачах, поскольку часть мощности передается в переносном движении, где потери отсутствуют.

Отметим, что ранее предпринимались многочисленные попытки использовать передачи вального типа в автоматических трансмиссиях легковых автомобилях, однако в настоящее время они получили ограниченное применение. Иногда передачи вального типа позволяют реализовать некоторые компоновочные преимущества на переднеприводных автомобилях, так как позволяют уменьшить длину коробки. В качестве примеров использования вальных коробок передач можно назвать легковые переднеприводные автомобили фирмы Хонда и автомобили фирмы Мерседес с относительно малой мощностью двигателя (класс А). С учетом сказанного ниже, основное внимание уделено коробкам передач планетарного типа. По приближенной оценке 88-90% выпускаемых легковых автомобилей с автоматическими коробками передач имеют трансмиссию с механическим редуктором планетарного типа, и лишь 10-12% приходится на вальные и бесступенчатые коробки передач.

Необходимо отметить, что для переднеприводных автомобилей вальные коробки передач обеспечивают более высокий механический КПД, поскольку в них на каждой передаче задействованы 2 зацепления. В планетарной же к ним добавляются зацепления в планетарных рядах, так что разница КПД составляет 1,5-3%. В заднеприводных автомобилях, наоборот, КПД вальных коробок на 1,5-4% меньше, чем у планетарных.

Планетарные АКП

Современные планетарные коробки передач отличаются большим разнообразием. Обычно они классифицируются по различным признакам и в первую очередь по числу передач и особенностям компоновки. Это связано с тем, что число передач определяет кинематический диапазон коробки, от которого зависят эксплуатационные показатели: топливная экономичность и тягово-динамические характеристики автомобиля.

По сравнению с применявшимися ранее трехступенчатыми четырехступенчатые коробки передач позволили реализовать ряд важных преимуществ, способствующих улучшению топливной экономичности и динамических качеств автомобиля. Однако вопрос об их дальнейшем совершенствовании оставался открытым. Стремление к дальнейшему повышению динамических качеств автомобилей и их топливной экономичности уже в начале 90-х годов привело к созданию пятиступенчатых планетарных коробок передач. Однако прежде чем переходить к рассмотрению кинематических схем пятиступенчатых коробок передач, остановимся еще на одном важном вопросе. При разработке кинематической схемы большое значение имеет улучшение качества управления приводом планетарной передачи и реализация плавного переключения. С этой целью в современных автоматических коробках передач широко используются муфты свободного хода. Подробно анализ муфт свободного хода будет рассмотрен далее.

Стремление улучшить динамические показатели и топливную экономичность уже в начале 90-х годов привело к созданию пятиступенчатых планетарных коробок передач. Значительные работы в этом направлении были проведены фирмами ZF и Mercedes-Benz. В какой-то степени создание этих передач явилось ответом на появление шестиступенчатых коробок передач с ручным управлением. Фирма ZF разработала два варианта пятиступенчатых планетарных коробок передач. Первый

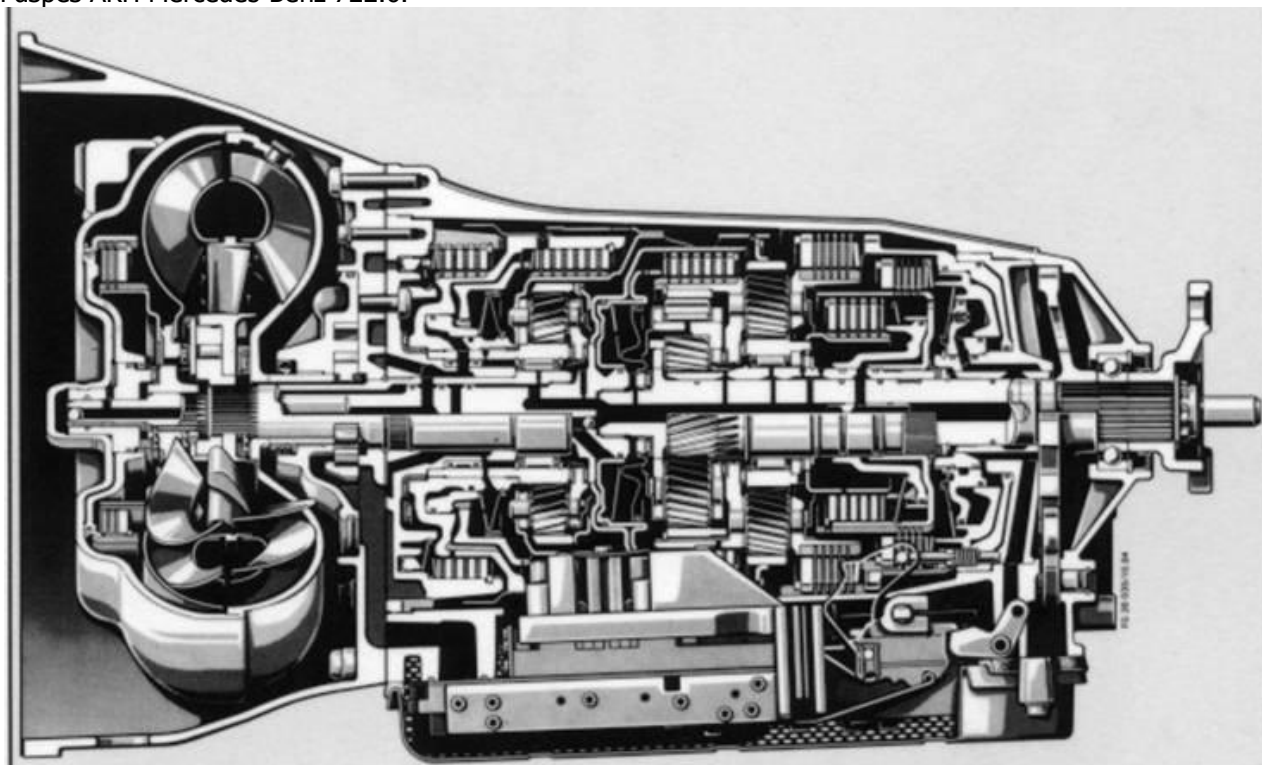
вариант предусматривал развитие схемы ZF4HP18 (Ровено). В кинематическую схему этой четырехступенчатой коробки передач был добавлен дополнительный планетарный ряд, который обеспечил получение еще одной понижающей передачи, при этом был реализован следующий ряд передаточных чисел: 3,67; 2,0; 1,44; 1,00; 0,74 и задний ход: -2,75. Автоматическая коробка, выполненная по этой схеме, получила индекс ZF 5HP18. Для реализации указанных передаточных чисел на первой, второй и третьей передачах включен тормоз дополнительного планетарного ряда, останавливающий солнечную шестерню и реализующий понижающую передачу с передаточным числом 1,41. На четвертой и пятой передачах этот ряд блокируется. К недостаткам этой передачи можно отнести увеличение числа выключенных фрикционных элементов, которые могут создавать дополнительные потери.

Другой вариант более компактной пятиступенчатой коробки, разработанный фирмой ZF (по схеме Вильсона) получил индекс 5HP-24. В нем использовано три планетарных ряда, три муфты сцепления, три дисковых тормоза и муфта свободного хода. Указанная автоматическая передача устанавливается на автомобилях BMW, AUDI и других.

Пятиступенчатая АКП Mercedes-Benz

Фирмой Mercedes-Benz также была разработана новая кинематическая схема пятиступенчатой коробки передач, которой был присвоен индекс 722.6. Эта коробка включает три планетарных ряда, три сцепления, три дисковых тормоза и две муфты свободного хода. К ее особенностям следует отнести уменьшенное число выключенных фрикционных элементов, что способствует снижению дисковых потерь.

Разрез АКП Mercedes-Benz 722.6.



Представленные выше автоматические пятиступенчатые планетарные коробки передач способствовали улучшению тяговых и разгонных характеристик, а также топливной экономичности легковых автомобилей. Однако при этом пришлось ввести третий планетарный ряд, что увеличило длину коробки передач до 500-650 мм. Использовать такие коробки передач оказалось возможным только на автомобилях с задним приводом. Между тем в настоящее время на автомобилях малого и среднего класса в большинстве случаев используется передний привод с поперечным расположением двигателя. Для размещения автоматических планетарных коробок на таких автомобилях их длина не должна превышать 350-400 мм. В связи с этим в конце 90-х годов

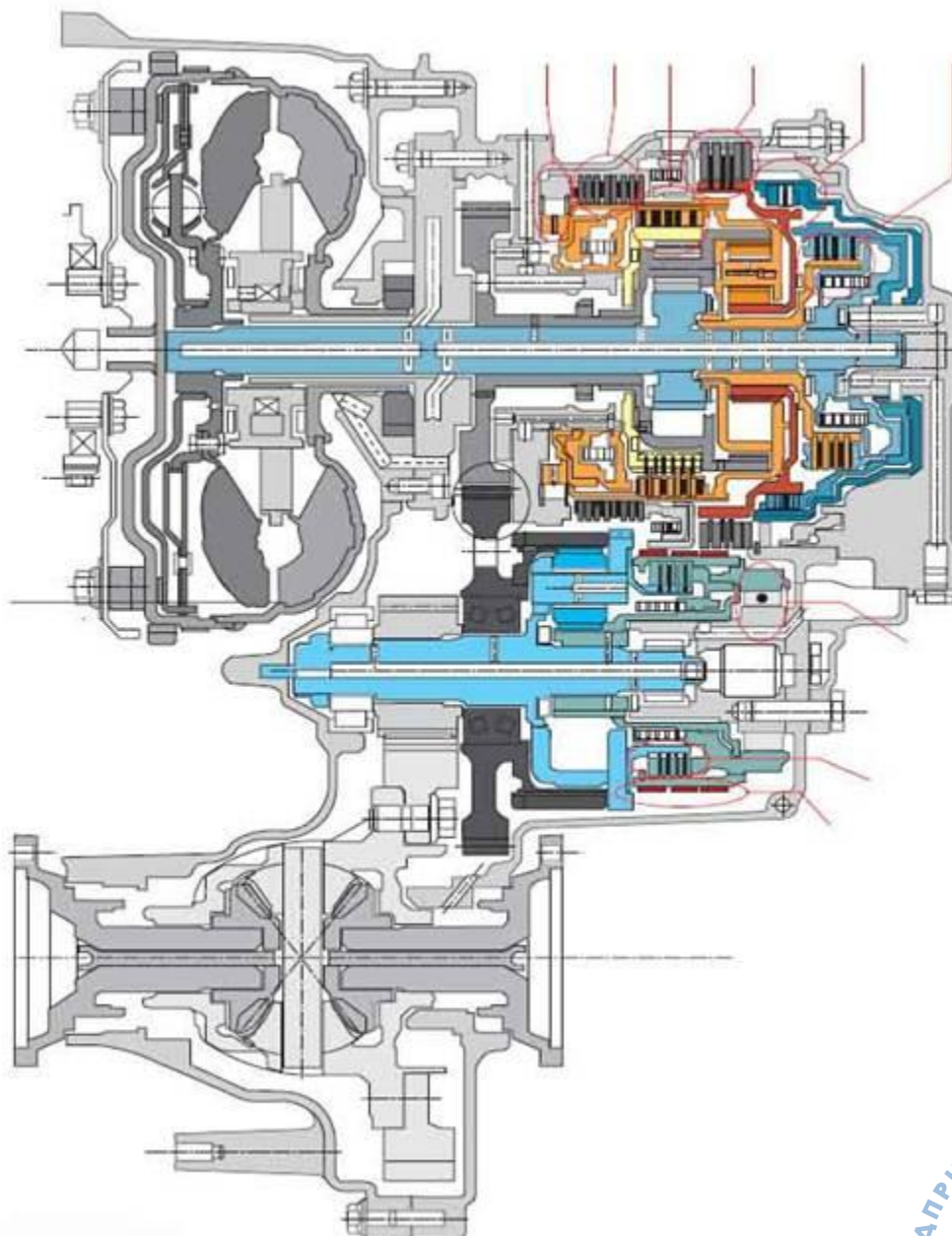
активизировались работы по созданию пятиступенчатых планетарных коробок, которые имеют более компактную конструкцию и, в частности, уменьшенную длину.

В качестве примера такой конструкции можно привести пятиступенчатую планетарную коробку передач японской фирмы JATCO модели JF506E, которая рассматривается ниже.

Пятиступенчатая АКП фирмы JATCO JF506E

В отличие от ранее приведенных конструкций пятиступенчатых коробок для заднеприводных автомобилей, планетарные коробки которых располагались в одну линию по оси коленчатого вала, пятиступенчатая коробка JATCO JF506E располагается в две линии, при этом на одной линии находятся гидротрансформатор и два планетарных ряда, а на другой линии - третий планетарный ряд

Разрез АКП JATCO JF506E.

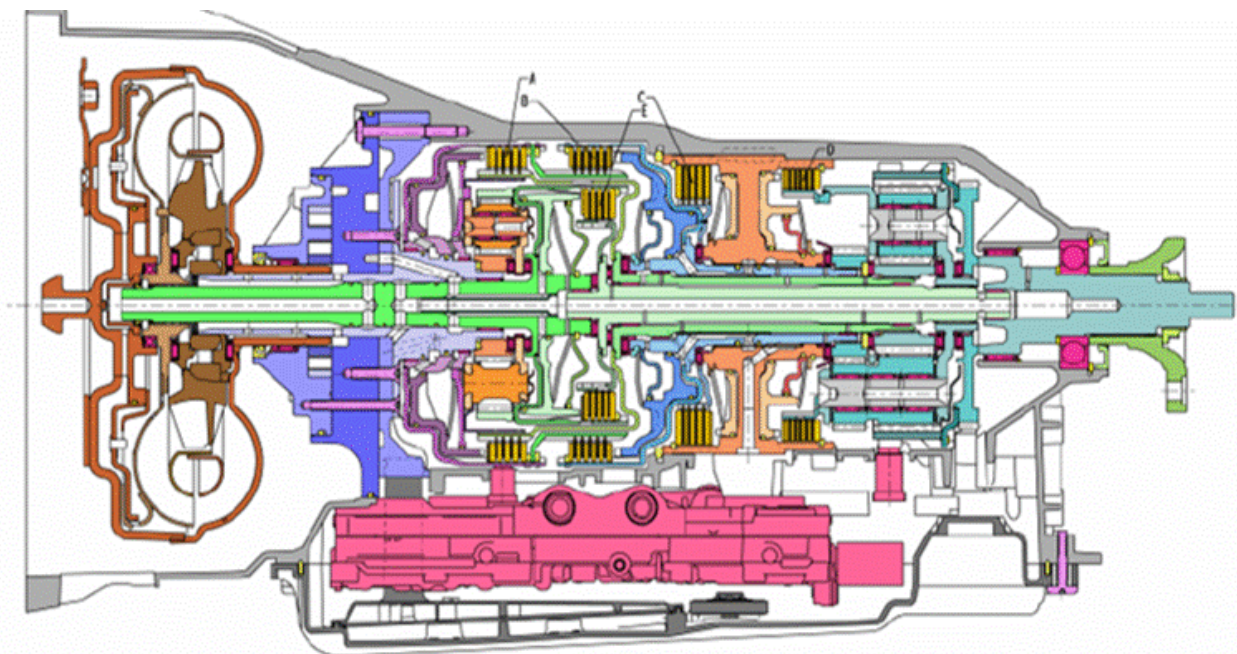


Данная коробка передач может быть использована на автомобилях с передним приводом и поперечным расположением двигателя, который имеет рабочий объем до 3 л, ($M_e = 310 \text{ Нм}$) $n_e \leq 7000 \text{ об/мин.}$, при этом ее длина составляет около 370 мм.

Шестиступенчатая АКП ZF-6HP-26/32

качестве дальнейшего шага в области развития автоматических коробок передач следует рассматривать создание шестиступенчатой автоматической коробки передач ZF-6HP-26/6HP-32, которая разработана фирмой ZF.

Рис. 1.10. Разрез АКП 6HP-26



Кинематическая схема, примененная в этой автоматической коробке, включает планетарную передачу Ровено, при этом перед основным планетарным рядом установлен еще один планетарный ряд. Совместно они образуют планетарную передачу Лепелетье (Lepelletier). Указанная передача включает три сцепления и три тормоза, при этом реализуется шесть передач переднего хода, а также передача заднего хода. По такой же схеме выполнена АКП Aisin Warner. Применение представленной шестиступенчатой планетарной коробки передач позволяет улучшить топливную экономичность автомобиля в результате работы двигателя на более экономичных

$$D_m = \frac{i_0}{i_6} = 6,04$$

режимах благодаря расширению кинематического диапазона до . Одновременно из рассмотрения представленных материалов можно ожидать снижения дисковых потерь во вращающихся отключенных сцеплениях, так как их число уменьшено по сравнению с пятиступенчатыми передачами. По данным производителя коробки снижение расхода топлива составляет до 5-7% по сравнению с ранее применявшейся автоматической коробкой передач ZF-5HP-24.

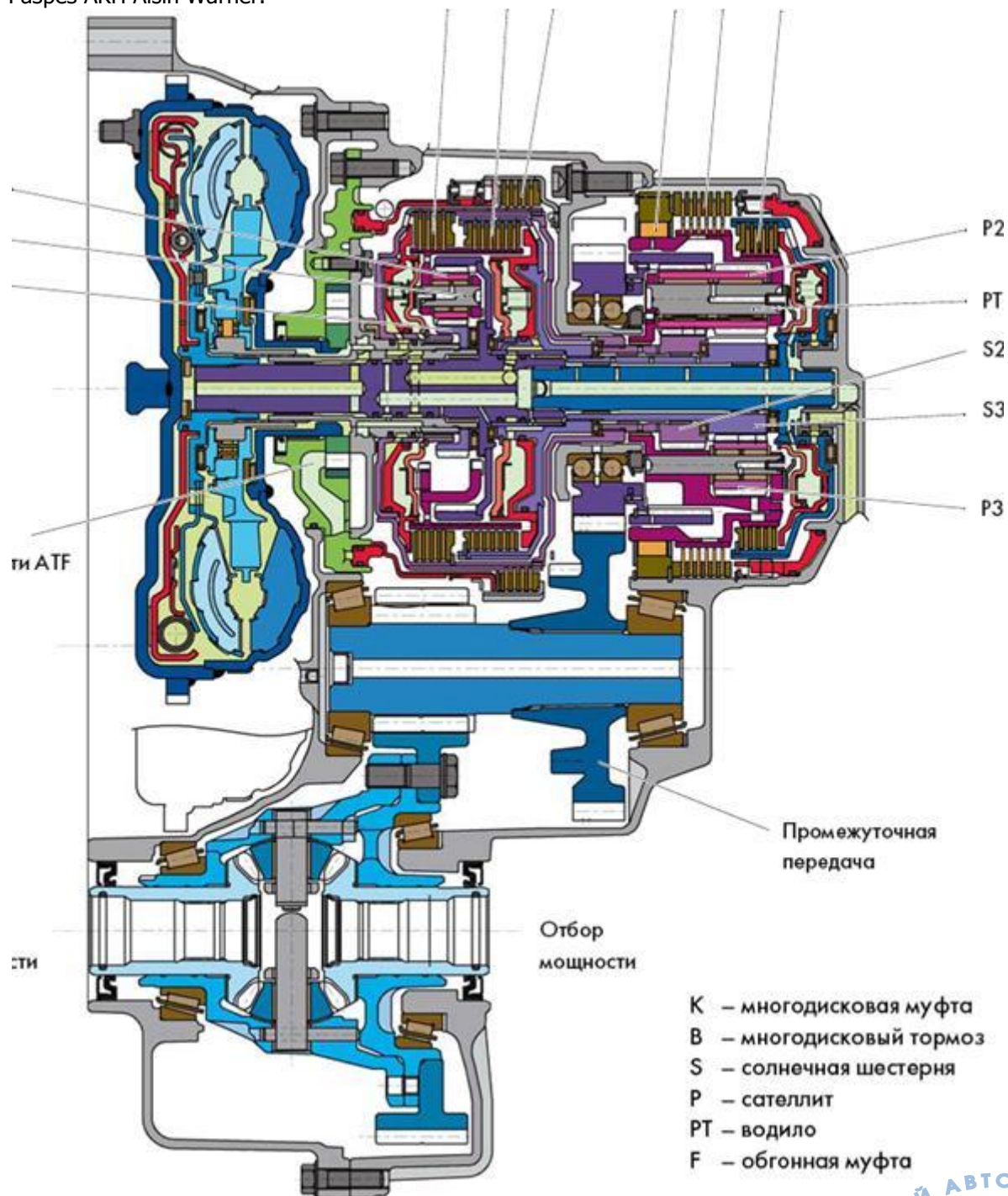
Одновременно, также благодаря расширению диапазона D_k и повышению плотности ряда по сравнению с пятиступенчатой передачей, достигается улучшение разгонных качеств автомобиля на 1-5%.

Кроме того, благодаря рациональной схеме данного редуктора и удачным конструкторским решениям, удалось уменьшить число фрикционных элементов, используемых для управления этой коробкой передач. По данным ZF по сравнению с пятиступенчатыми автоматическими коробками новая коробка передач легче на 30 кг и примерно на 50 мм короче. В настоящее время данная коробка передач используется на автомобилях BMW серии 735i и 745i, и автомобилях AUDI. Однако,

учитывая серьезные преимущества новой автоматической коробки передач, можно ожидать значительного расширения области ее применения.

По этой же схеме выполнены две АКП фирмы Aisin Warner – для заднеприводных и полноприводных автомобилей и переднеприводных автомобилей.

Разрез АКП Aisin Warner.



Первая устанавливается на автомобилях VW (Tuareg и тд), вторая получила массовое применение на автомобилях VW, Ford, Volvo и тд.

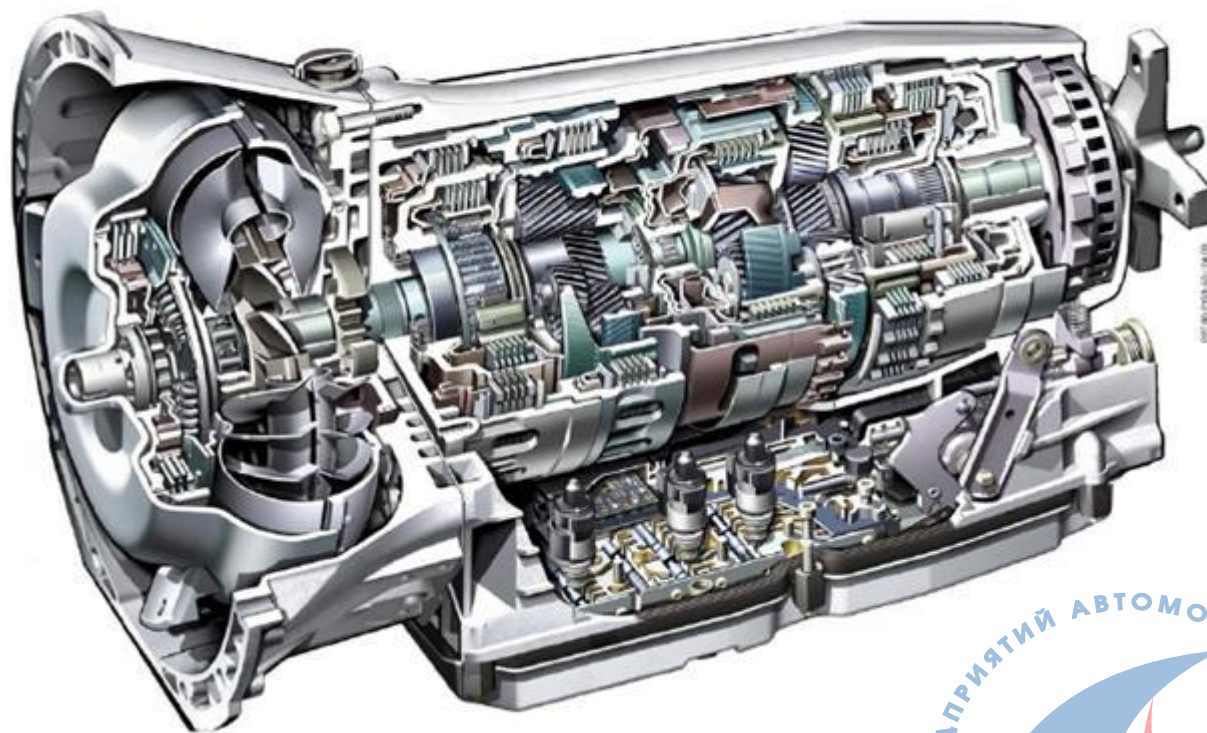
Семиступенчатая автоматическая коробка фирмы Мерседес (версия 7.22.9)

Семиступенчатая автоматическая коробка фирмы Mercedes была разработана в 2004 г. применительно к автомобилям высшего класса с двигателями до 5-6 л и предназначалась взамен ранее созданной пятиступенчатой коробки (версия 7.22.6), которая была описана выше. Конструкция этой новой коробки включает три планетарных ряда, один из которых сложный и содержит сцепленные сателлиты и две коронные шестерни. При незначительном увеличении габаритов оказалось возможным расширить кинематический диапазон до $D_k = 6,01$ и одновременно уплотнить ряд передаточных чисел. При этом коробка передач имеет четыре понижающих передачи, прямую передачу и две повышающих. По имеющимся данным это позволило улучшить разгонные качества по сравнению с автомобилями, на которых устанавливается пятиступенчатая автоматическая коробка 722.6 примерно на 5%, особенно в диапазоне 60-120 км/ч, а также улучшить топливную экономичность на 4-5%. Последнее, по-видимому, связано с применением двух повышающих передач. Кроме того, при этом достигается некоторое снижение шума двигателя за счет увеличения времени его работы в зоне оптимальных оборотов.

Вместе с тем можно предположить, что дальнейшее увеличение числа передач более 6-7 на легковых автомобилях нецелесообразно. Так, при 6-7 передачах достигается требуемый кинематический диапазон, а дальнейшее увеличение плотности ряда может ухудшить работу автоматической системы управления ввиду возникновения цикличности, при которой происходит частое переключение передач «вверх-вниз» даже при незначительном изменении сопротивления движению. Кроме того, при этом имеет место усложнение конструкции.

В целом представленный материал показывает, как изменились кинематические схемы и конструкции автоматических коробок передач за последнее время, что в конечном результате позволило улучшить эксплуатационные качества автомобилей и в первую очередь их разгонные качества и топливную экономичность.

АКП Mercedes 722.9.



Конструкции вальных автоматических коробок передач.

Основные сведения о вальных коробках передач.

Несмотря на многочисленные попытки использования вальных коробок, они на легковых автомобилях используются реже, чем планетарные. Это связано с тем, что на заднеприводных легковых автомобилях требуется соосная коробка передач. При использовании соосной коробки передач в вальной коробке требуется иметь на каждой передаче не менее двух зацеплений в шестернях. При двух зацеплениях к.п.д. вальной коробки обычно ниже, чем планетарной.

Другой недостаток заключается в том, что при числе передач больше трех на каждой передаче в вальной коробке обычно больше выключенных сцеплений, чем в планетарной, что приводит к росту дисковых потерь. Недостаток соосной вальной коробки на заднеприводном легковом автомобиле проявляется и в том, что в большей степени стесняет салон автомобиля. Указанные недостатки проявляются и в переднеприводных автомобилях с продольным размещением двигателя. Вместе с тем, как показала практика, вальные автоматические коробки передач могут быть достаточно приемлемы при их использовании в легковых автомобилях с передним приводом и с поперечным расположением двигателя.

В этом случае коробка выполняется по двухвальной схеме и содержит на каждой передаче только два зацепления шестерен, включая главную пару. Благодаря этому к.п.д. в зацеплении равен $\eta_{мз} \approx 0,96\%$ на каждой передаче, то есть выше, чем у планетарных переднеприводных коробок передач.

Дисковые потери в этих вальных коробках могут оказаться несколько выше, особенно при увеличении числа передач переднего хода больше четырех. Чтобы уменьшить дисковые потери в этих коробках часто для включения заднего хода используется сервопривод с применением зубчатых муфт. Такая конструкция, хотя и позволяет снизить дисковые потери, но при этом увеличивает время на включение-выключение заднего хода и несколько снижает плавность.

На серийных легковых автомобилях вальные автоматические коробки передач получили применение уже в 60-х годах в результате работ, проведенных японской фирмой Honda. Следует отметить, что в двухвальных автоматических коробках при увеличении передач переднего хода больше трех необходимо применять относительно длинные валы, что снижает жесткость конструкции и приводит к увеличению шумности при ее работе, а также способствует повышенному износу шестерен. Поэтому в 90-х годах появились трехвальные автоматические коробки передач, валы которых были выполнены более жесткими и короткими. Одновременно удалось уменьшить длину этих автоматических коробок.

Эти вальные коробки оказалось возможным использовать на автомобилях с двигателями, рабочий объем которых составлял 1,4 – 3л ($N_e = 70-150$ кВт или 95-205 л.с.). Примерный ряд передаточных чисел в таких вальных коробках следующий: $i_1 = 2,72$; $i_2 = 1,52$; $i_3 = 1,03$; $i_5 = 0,78$; $i_{3x} = 1,95$.

К положительным сторонам вальных коробок следует также отнести то обстоятельство, что конструктор более свободен в выборе передаточных чисел по сравнению с планетарными коробками.

Фирма Mercedes-Benz также разработала пятиступенчатую вальную автоматическую коробку передач (версия МВ-722.7), которая выпускается с конца 90-х годов и используется на малых легковых автомобилях класса А, при этом реализованы следующие передаточные числа: $i_1 = 3,63$; $i_2 = 2,09$; $i_3 = 1,31$; $i_4 = 0,9$; $i_5 = 0,72$; $i_{3x} = 3,67$.

Автоматическая коробка включает гидротрансформатор и имеет три вала: первичный, промежуточный и вторичный. Промежуточный вал несет шестерню, которая соединяется с главной передачей автомобиля. На первой и второй передачах число шестерен, участвующих в передаче крутящего момента, равно 5, при этом используется три внешних зацепления. Если принять к.п.д. для каждого зацепления $\eta_0 = 0,98$, то суммарный к.п.д. для этих передач $\eta_{1мз} = \eta_{2мз} = 0,98^3 = 0,94$.

На третьей и четвертой передачах в передаче крутящего момента используется только одно зацепление, и к.п.д. на этих передачах равно $\eta_{3мз} = \eta_{4мз} = 0,98$.

Представленная схема представляется рациональной, так как на высших передачах (третьей и четвертой), где к.п.д. существенно выше, автомобиль работает большую часть времени, а на понижающих (первой и второй) время работы существенно меньше.

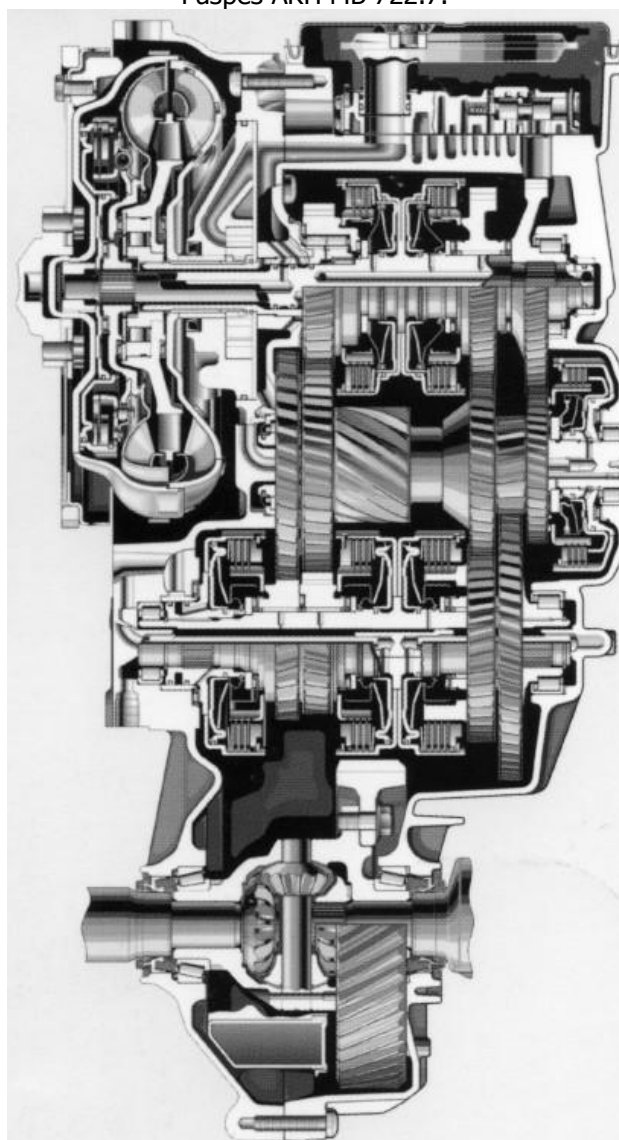
Пятиступенчатая АКП вального типа фирмы Mercedes-Benz (версия МВ-722.7)

Эта автоматическая коробка передач была первой пятиступенчатой коробкой, которая использовалась на переднеприводных автомобилях малого класса с поперечным расположением двигателя. Разместить автоматическую пятиступенчатую коробку планетарного типа на автомобилях этого типа долгое время не удавалось, ввиду их значительно большей длины, по сравнению с вальными коробками. Благодаря наличию пятой передачи оказалось возможным улучшить эксплуатационные показатели таких автомобилей.

Данная коробка предназначалась для автомобилей Mercedes-Benz с двигателями рабочим объемом 1,4-1,9 л ($\text{М}е = 50-100$ кВт или 70-135 л.с.).

Она использовалась на малых легковых автомобилях класса А и минивэнах. Эта коробка передач включает три вала и шесть фрикционных элементов (сцеплений), которые обеспечивают реализацию пяти передач переднего хода, а также задний ход.

Разрез АКП МВ 722.7.



Фирма Honda в 2002-2004 г. также разработала свою версию пятиступенчатой вальной коробки передач. От описанной выше она отличается следующими особенностями. Коробка передач предназначена для использования с двигателями мощностью 100-150 кВт (135-205 л.с.) и имеет следующие передаточные числа: $i_1 = 2,56$; $i_2 = 1,55$; $i_3 = 1,02$; $i_4 = 0,77$; $i_5 = 0,55$; $i_{3x} = 1,85$.

Для включения заднего хода используется зубчатая муфта с сервоприводом.

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 ψ) удастся 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 избежав 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.

При этом передаточное число i_b равно отношению радиусов, по которым происходит контакт ремня

$$i_b = \frac{r_{e2}}{r_{e1}}, \text{ где } r_{e1} - \text{ радиус положения ремня на ведущем валу, а } r_{e2} - \text{ на ведомом валу.}$$

Основным кинематическим параметром вариатора является диапазон регулирования

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

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

Поскольку

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). Обычно $r_1 \approx r_2 = r$, а $R_1 \approx R_2 = R$ (симметричное регулирование). Поэтому

$$D_x = \frac{R^2}{r^2}, \text{ а } \frac{R}{r} = \sqrt{D_x}.$$

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:

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

$$\text{при этом } i_{\max} = \frac{R}{r} = \sqrt{D_x}, \text{ а } i_{\min} = \frac{r}{R} = \frac{1}{\sqrt{D_x}}$$

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 центростремительного сцепления.

Некоторые характерные параметры этой передачи были следующие. Диапазон регулирования $D_k = 4,33$; 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 максимум 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 FordFiesta и FIATUno-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 $i_{3x} = -1$.

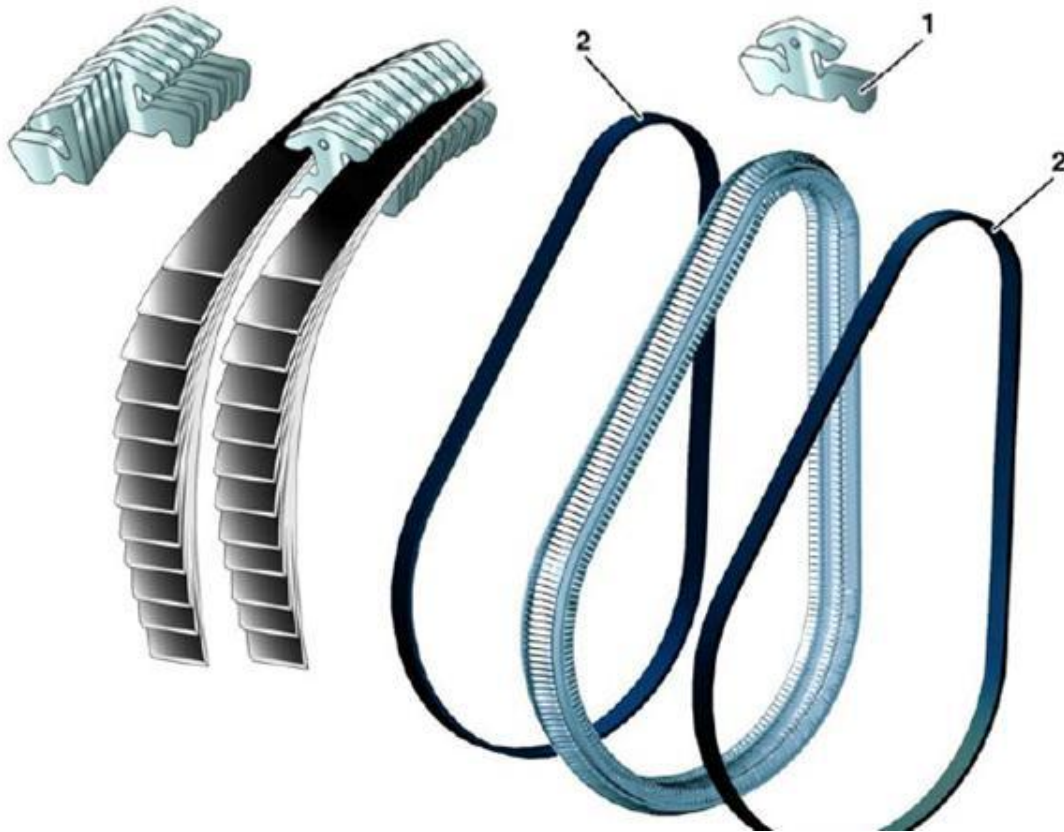
Планетарный ряд управляется мокрыми многодисковыми сцеплением и тормозом. За счет буксования этих элементов осуществляется достаточно плавное трогание автомобиля с места.

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 трапецеидальных металлических блоков, связанных воедино двумя многослойными лентами. Каждая лента состоит из 10 полос мартенситностареющей стали толщиной 0,2 мм. Трапецеидальные блоки штампуются из стальной полосы толщиной 2 мм. Собирается гибкий элемент установкой многослойных лент в боковые прорези трапецеидальных 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_b 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 $i_b = 0,5$ (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 $N_e = 100$ л.с., которые выпускались небольшими сериями. В Европе указанный вариатор использовался на малолитражных автомобилях FordFiesta $N_e = 75$ л.с. В Европе значительный интерес к работам в этой области проявила также фирма ZF, известная своими достижениями в области автоматических трансмиссий.

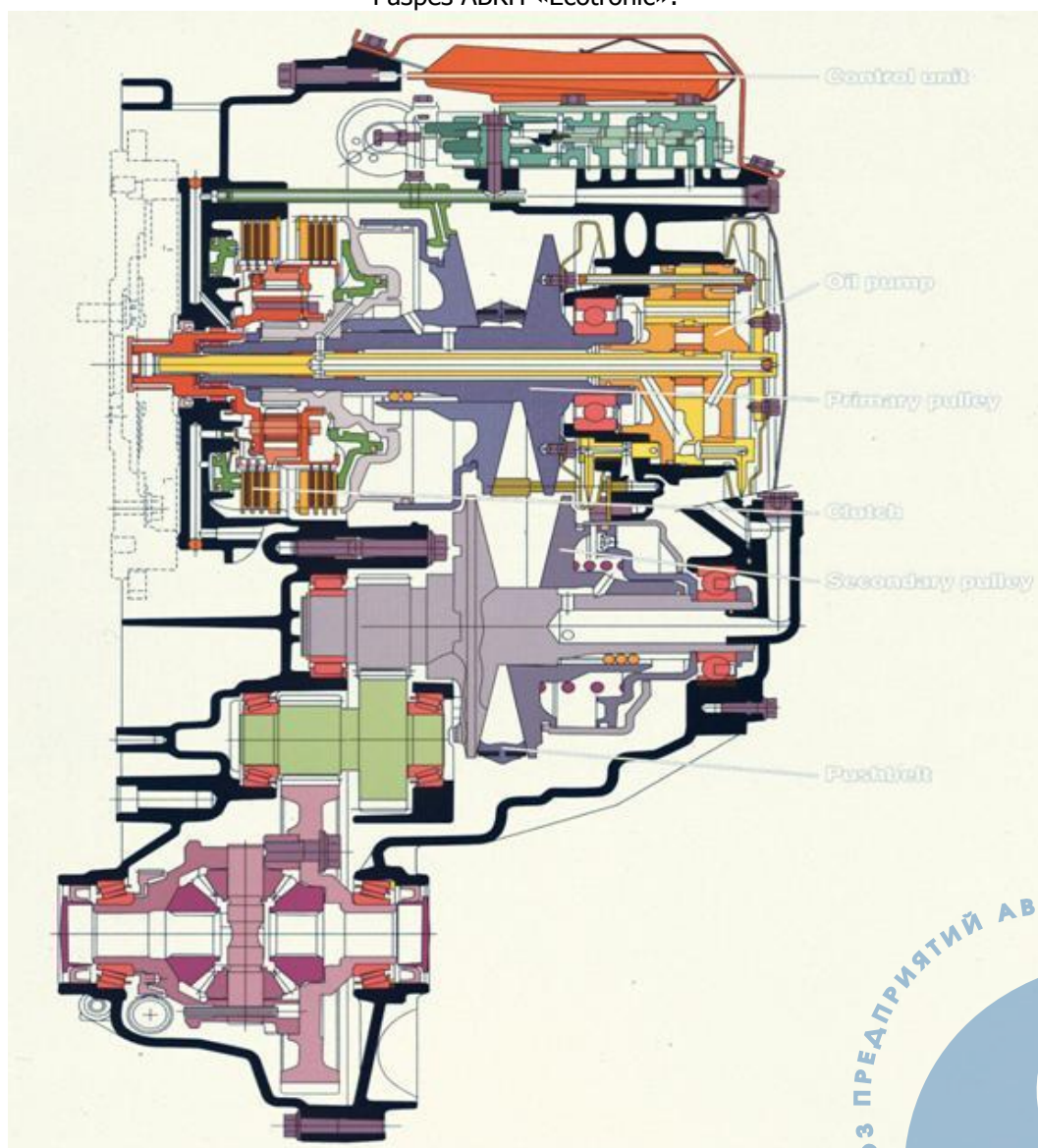
АБКП фирмы ZF

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

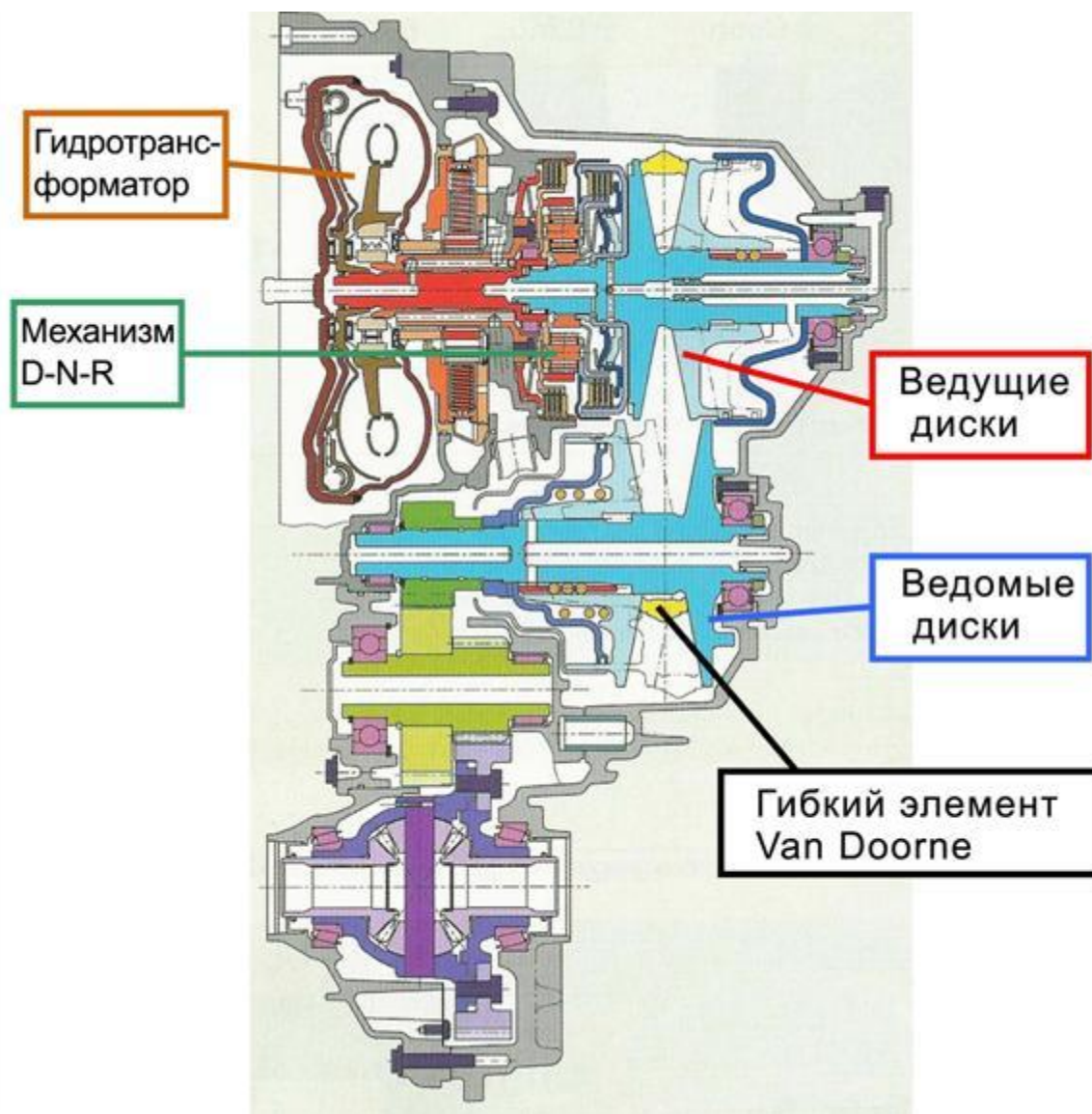
четырёх вариантах. Они имеют различные массогабаритные показатели и диапазон регулирования (от 5,45 до 5,82). Необходимо отметить, что в конструкции АКПП «Ecotronic», рассчитанных на передачу большого крутящего момента, и, соответственно, предназначенных для более дорогих и мощных автомобилей, используется 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 комфортности 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 АКПП планетарными редукторами. Это связано с тем, что в них меньше управляющих устройств (клапанов, гидроаккумуляторов). В тоже время рабочее давление жидкости в АКПП обычно выше, чем в автоматических коробках передач с планетарными редукторами.

Разрез АКПП «Ecotronic».



Разрез АКПП «Ecotronic» CFT-23 с гидротрансформатором.



Представление о топливной экономичности АКПП «Ecotronic» дают следующие данные. По своим показателям эта бесступенчатая передача примерно соответствует лучшим 4-ступенчатым АКПП, но несколько уступает пятиступенчатым АКПП несмотря на то, что диапазон регулирования у нее даже несколько больше; она также уступает пятиступенчатым механическим коробкам 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 $D_k \approx 6.0$.

АКПП (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-Volkswagen с 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.

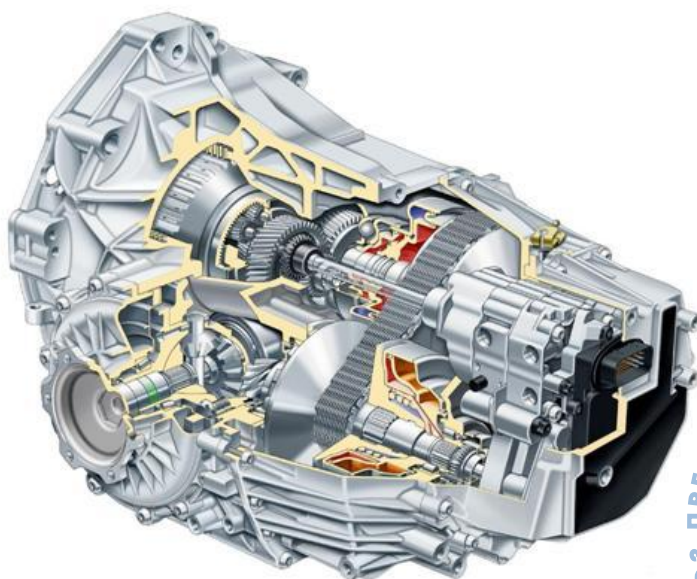
Этим преимуществами цепного вариатора не ограничиваются. Его конструкция обеспечивает меньший уровень потерь, что определяется

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

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 $M_c = 200-330$ 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 А6, 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 9,9 сек. 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.



Разрез АКПП Multitronic

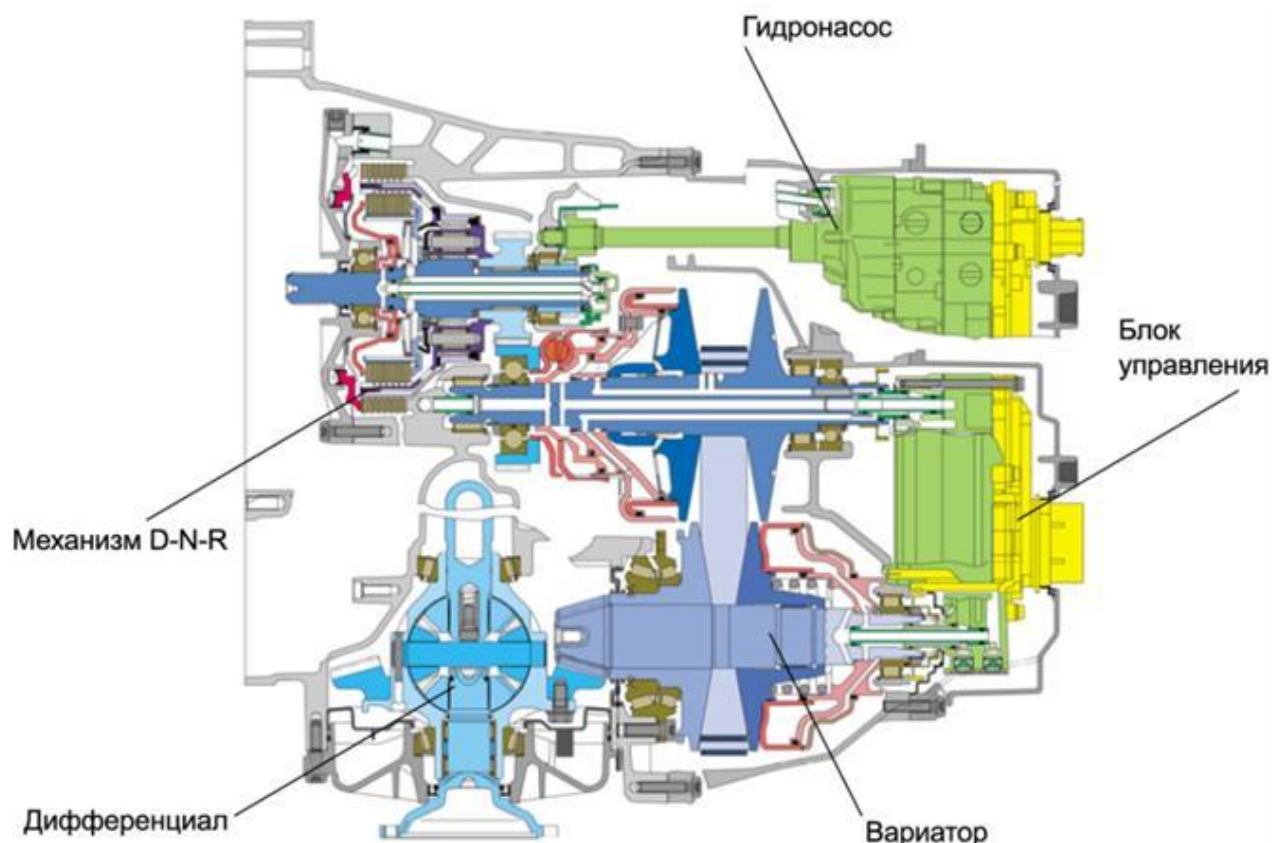
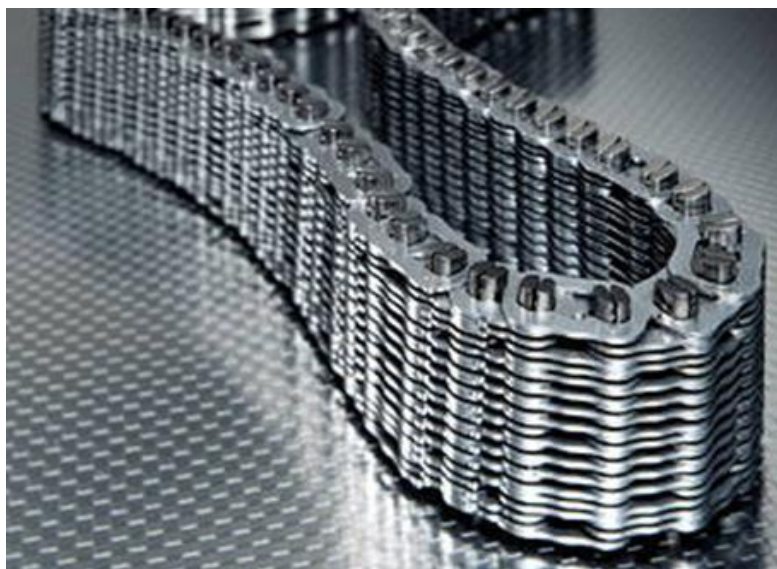


Рис. 1.27. гибкий элемент – цепь АКПП Multitronic

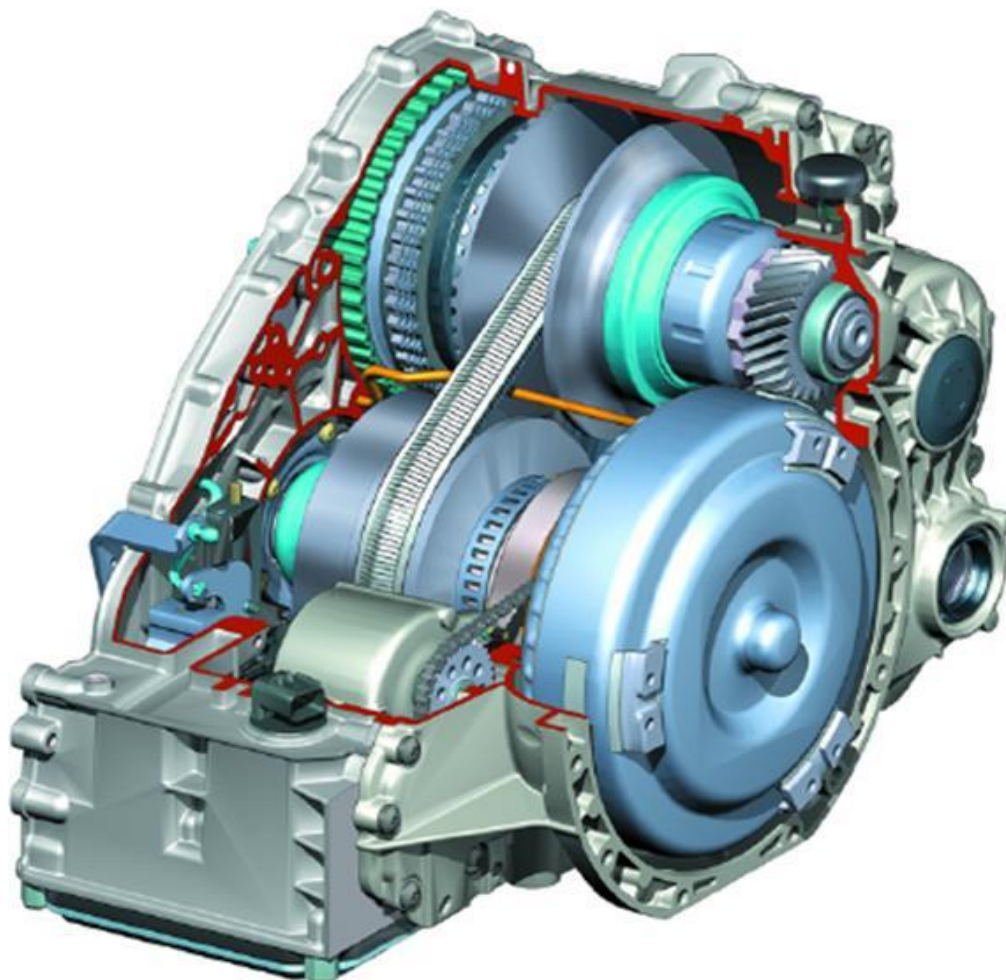


Как видно из представленных материалов, «Multitronic» включает планетарную передачу для реализации переднего и заднего хода, одну пару паразитных шестерен, позволяющих сместить вариатор в сторону, что облегчает размещение конической главной передачи для привода передних колес. Конструкция, однако, представляется 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 АКПП «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.

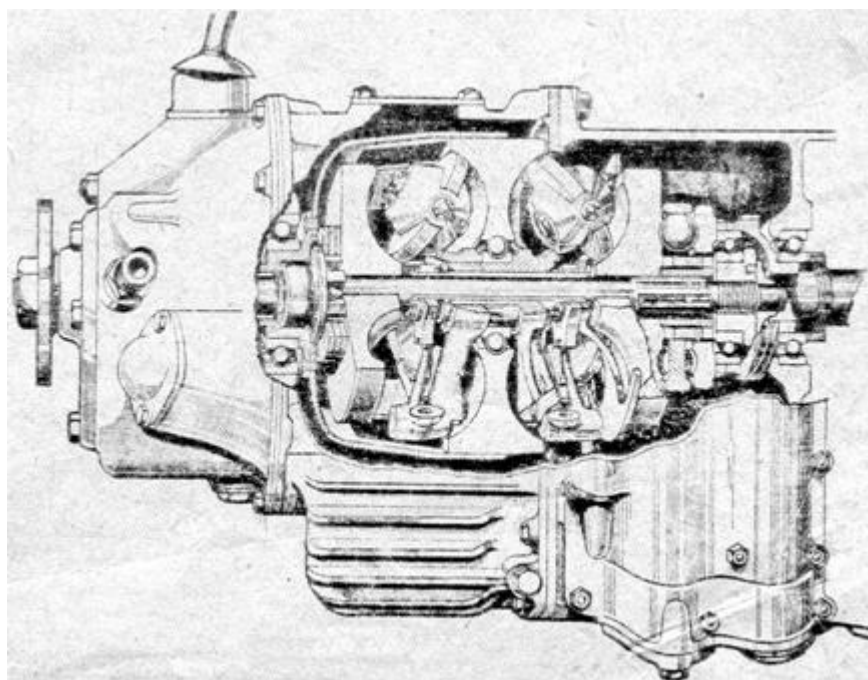


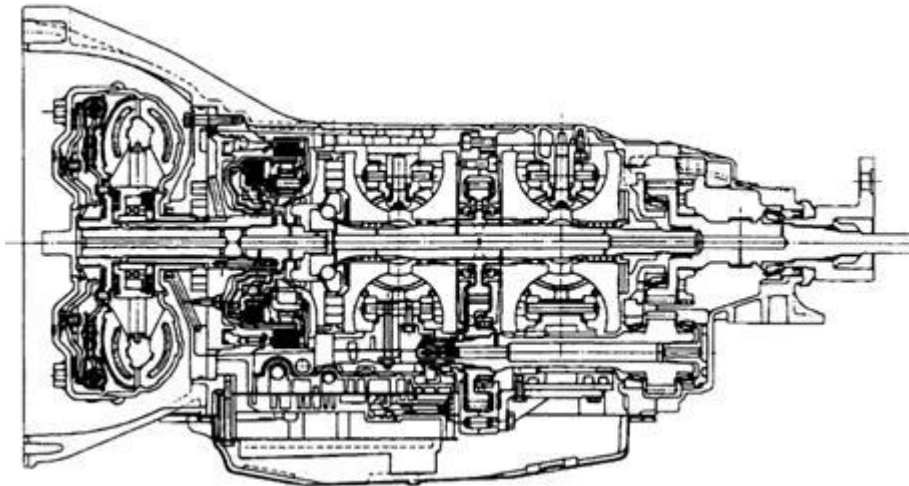
Рис.1.30. Трансмиссия Austin-Hayes.

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 нагрузочной способностью. Препятствием для распространения

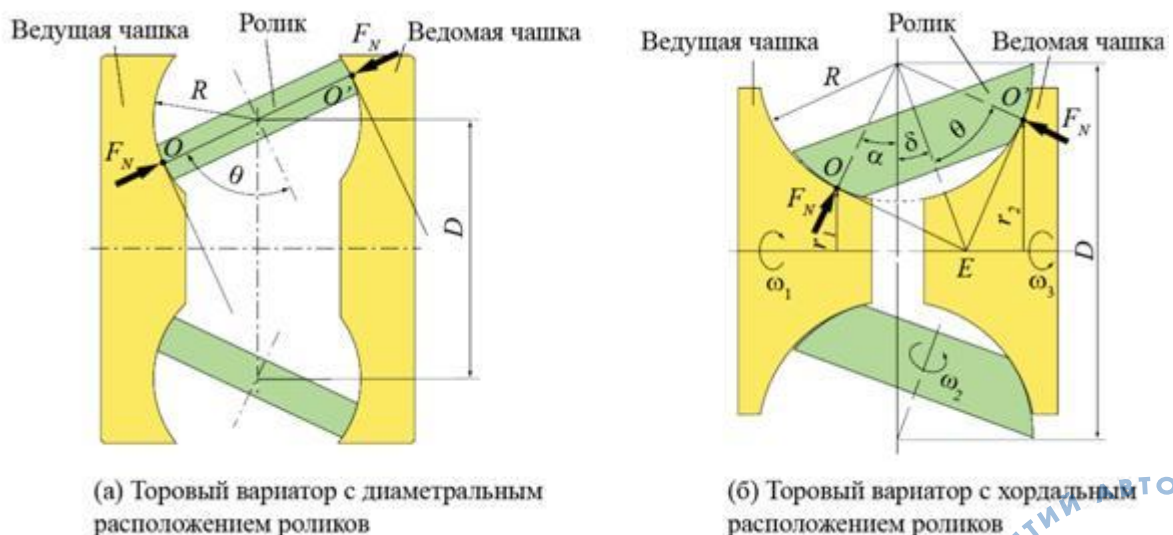
Рис.1.31. Трансмиссия Nissan Extroid

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

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

вариатора определяется отношением радиусов качения ролика на ведомой и ведущей чашке: . Соответственно, для изменения этого отношения необходимо поворачивать ролики на угол.



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

Вид торовой АБСТ ZF.

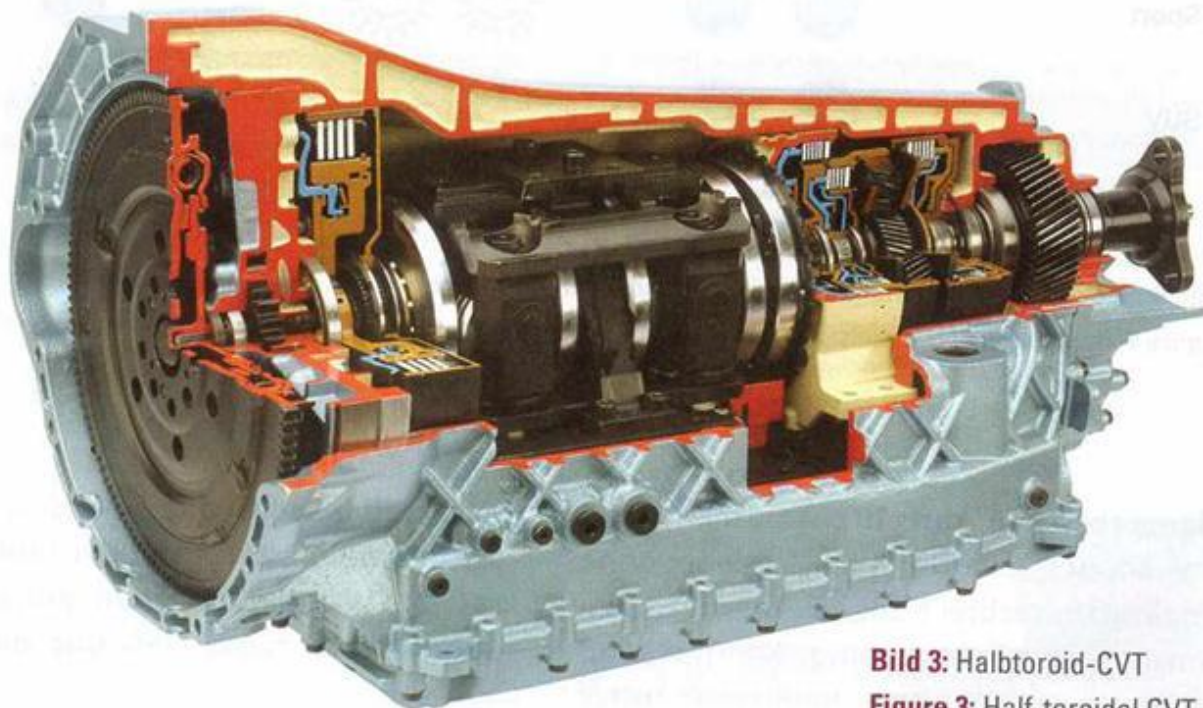


Bild 3: Halbtoroid-CVT

Figure 3: Half-toroidal CVT

Конструкция планетарных автоматических коробок передач легковых автомобилей.

Так же, как автомобиль, АКП по компоновке подразделяются на:

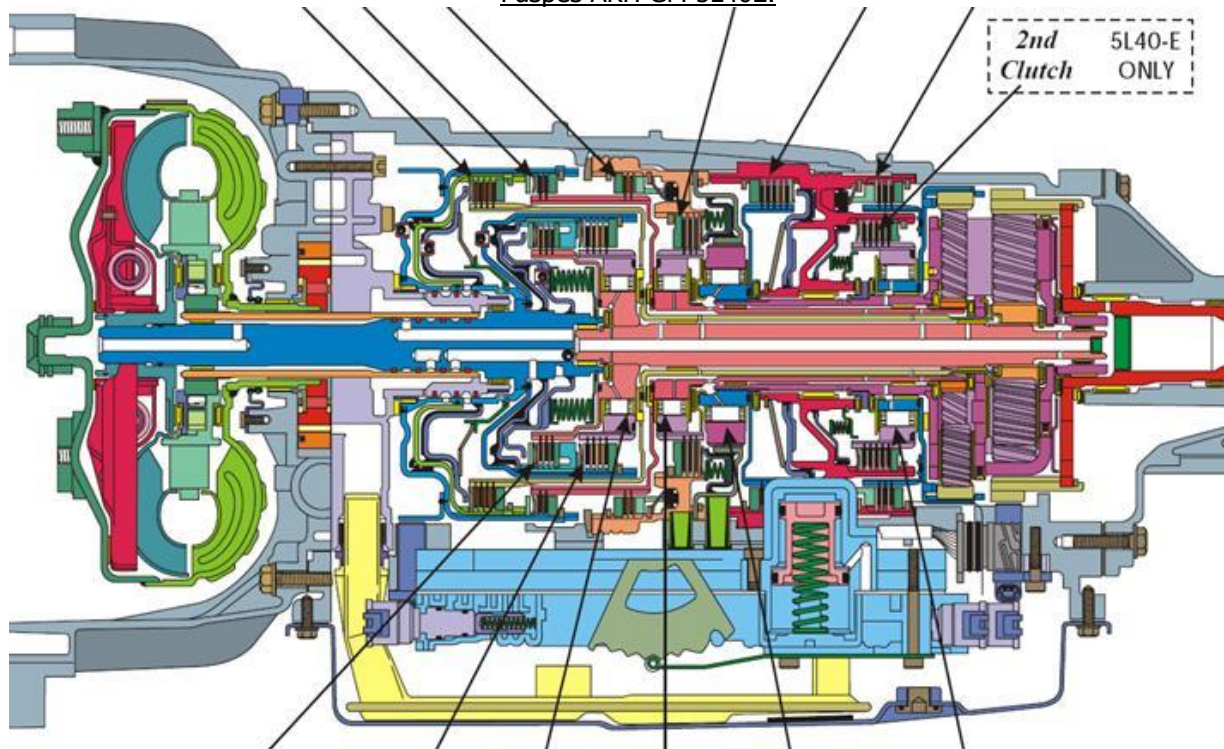
- заднеприводные;
- переднеприводные поперечные (с поперечным размещением двигателя);
- переднеприводные продольные (с продольным размещением двигателя);
- полноприводные на базе заднеприводных;
- полноприводные на базе переднеприводных поперечных;
- полноприводные на базе переднеприводных продольных.

Поскольку габариты АКП несколько больше габаритов обычных механических коробок передач, их компоновка и размещение на автомобиле отличаются некоторыми особенностями.

Общая компоновка АКП и особенности их размещения на легковом автомобиле.

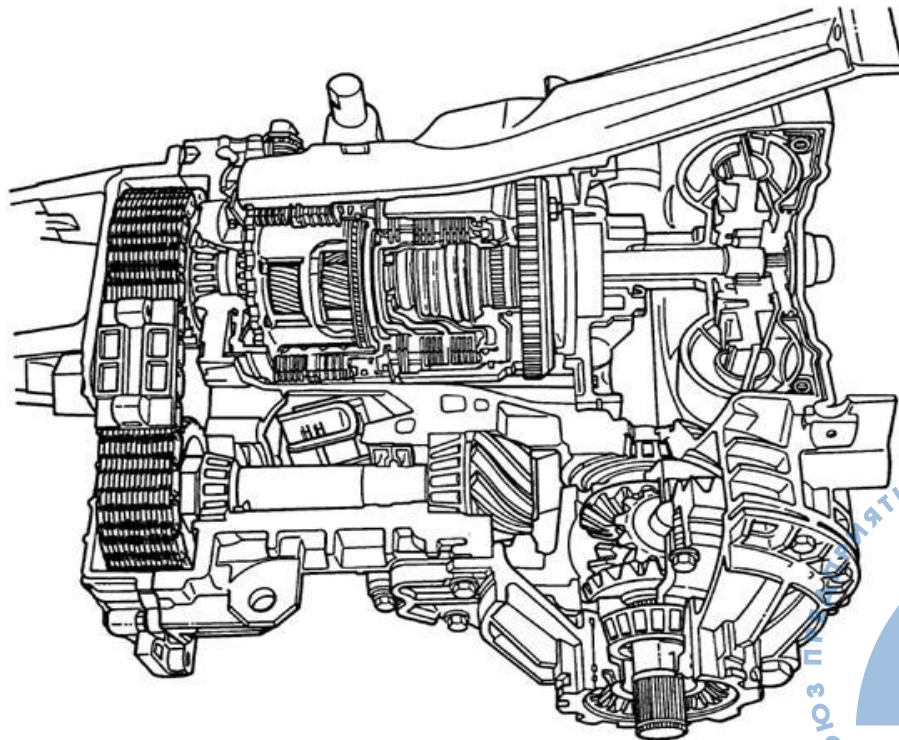
Заднеприводные АКП имеют наиболее свободную компоновку. Они не ограничены ни по длине, ни по поперечным размерам. Единственное ограничение – вертикальный размер (от оси АКП до нижней точки поддона), влияющий на дорожный просвет автомобиля. Поэтому эти АКП быстрее реагируют на изменение тенденций в их развитии, в первую очередь, на потребность в увеличении передач. Они имеют развитый нижний поддон, в котором располагается гидравлическая система управления, масляный фильтр и резервуар для рабочей жидкости. В заднеприводных АКП нет ограничений и на размеры гидротрансформатора, поэтому он может выполняться с размерами, соответствующим идеальным теоретическим, при этом возможно использование трехканального управления сцеплением блокировки ГТ и охлаждения ГТ. Примером такой АКП может являться модель GM 5L40E.

Разрез АКП GM 5L40E.



Аналогично обстоит дело и с переднеприводными продольными АКП. Некоторые ограничения накладываются в связи с необходимостью расположения гипоидной главной передачи между ГТ и планетарной коробкой передач, а также в связи с передачей крутящего момента с выхода планетарной коробки передач на промежуточный вал через согласующую зубчатую или цепную передачу. Это требует размещения в картере АКП радиально-упорных подшипников для восприятия продольных и поперечных сил от этих передач, повышение жесткости картера, применение отдельных масляных систем для АКП и дополнительных передач. Все это приводит к увеличению массогабаритных показателей таких АКП и к снижению их КПД.

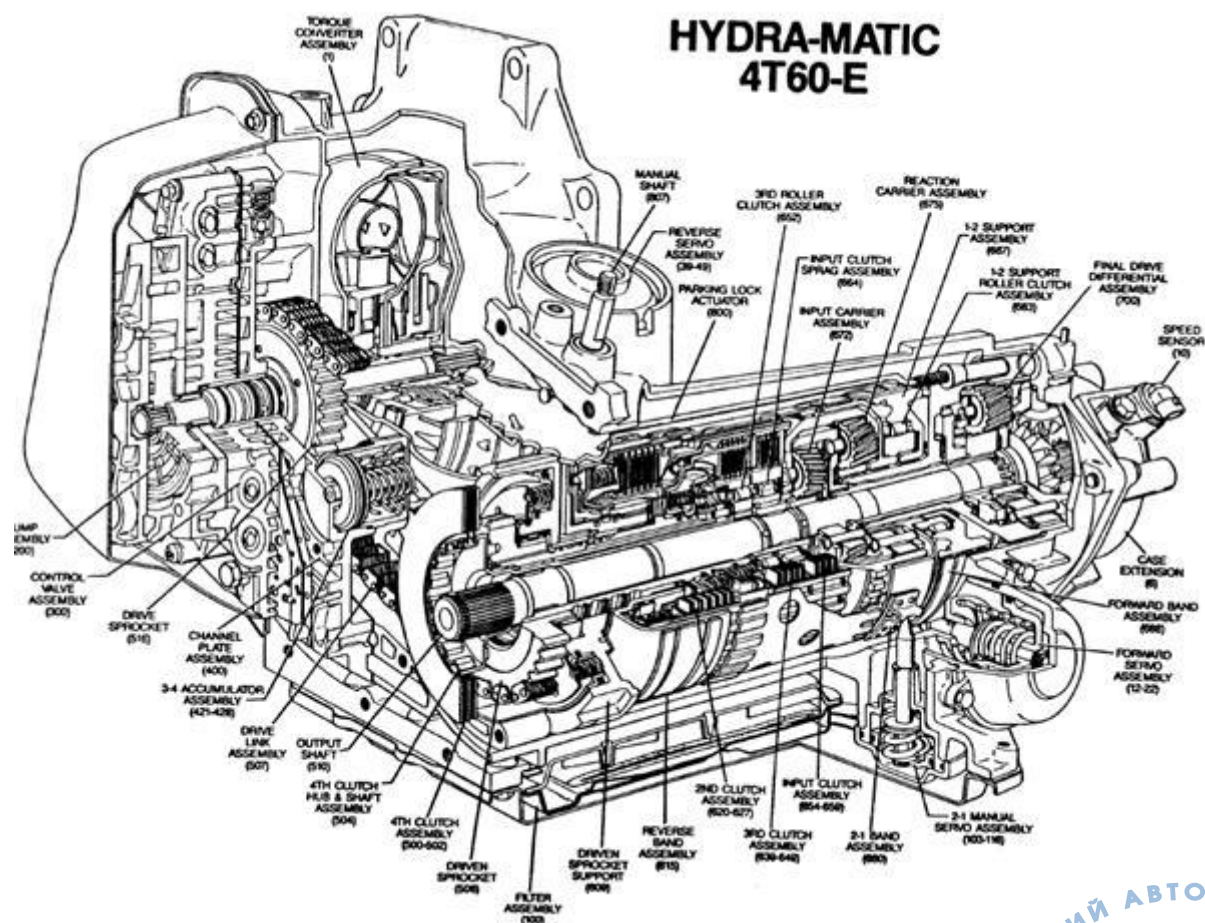
Вид АКП 42 LE фирмы Chrysler.



Переднеприводные поперечные АКП имеют наиболее жесткие требования к продольным размерам и к размеру до нижней точки. Последнее ограничение приводит к тому, что у некоторых АКП отсутствует нижний поддон, а система управления располагается либо сверху, либо сбоку. Гидротрансформатор выполняется со сжатой до 70% рабочей полостью, что снижает его КПД. Переднеприводные поперечные АКП выполняются в нескольких вариантах. Первый и наиболее распространенный вариант – линейный, т.е. ГТ и планетарная коробка передач располагаются в линию, по оси коленвала двигателя, а главная передача перемещена вниз. Передачу крутящего момента между ними осуществляет согласующая зубчатая или цепная передача. Такая схема применяется при объемах двигателя до 3 литров, имеющих относительно небольшую длину и позволяющих разместить АКП в пространстве между двигателем и лонжероном. В качестве примера таких конструкций представлены АКП JATCO JF 506 и Aisin Warner. Большинство таких переднеприводных АКП имеют выход планетарных рядов назад, в сторону от двигателя, поэтому для соединения с главной передачей и согласования направления вращения требуется промежуточная согласующая зубчатая передача и промежуточный вал, что дополнительно снижает КПД АКП на 2-2.5% по сравнению с заднеприводными. Некоторые АКП, например, мод. CD4E фирмы Ford имеют цепную передачу для согласования направления вращения, и планетарный редуктор в качестве главной передачи.

Двигатели большого объема (от 3 до 5 литров) имеют значительную длину, и места для размещения АКП на такую мощность двигателя между ним и лонжероном недостаточно. В этом случае на автомобилях фирмы Ford и GM применяется второй вариант компоновки АКП - Г-образный (рис. 1.37).

Вид АКП GM 4T60-E



Он отличается тем, что гидротрансформатор, масляный насос и система управления располагаются по оси двигателя, а планетарная коробка передач – на параллельном валу. Передача крутящего момента от турбинного вала на первичный вал планетарной коробки передач осуществляется зубчатой цепью. При такой конструкции вал привода левого колеса проходит через всю коробку. Отметим, что в АКП, выполненных по указанной Г-образной схеме, используется планетарный редуктор главной передачи, что несколько повышает суммарный КПД и снижает уровень шума. В

таких передачах применяются ленточные тормозные механизмы, что позволяет уменьшить поперечный размер коробки и увеличить дорожный просвет.

Для двигателей с рабочим объемом до 3л с передним приводом и поперечным расположением может быть использован третий вариант – пятиступенчатая АКП фирмы JATCO JF506E, кинематическая схема которой была приведена выше. К ее особенностям следует отнести размещение планетарной коробки в две линии, что позволило существенно уменьшить ее длину. Этот вариант отличается тем, что гидротрансформатор и два планетарных ряда располагаются соосно с коленчатым валом двигателя, а третий планетарный ряд размещается на другом параллельном валу.

Анализ конструкций компонентов АКП

Все представленные выше АКП состоят из функционально однотипных узлов, таких как: масляный насос, картер, планетарные механизмы, муфты свободного хода и тормоза, валы и опоры, системы гидравлического или электронногидравлического управления. Далее рассмотрим конструкции основных узлов и особенности их размещения в АКП.

Картер АКП

Картер АКП является технологически наиболее сложным и дорогостоящим узлом АКП. Современные картеры получают методом кокильного литья под высоким давлением из алюминиевых сплавов. При этом в отливке получают многие конструктивные элементы окончательно, без последующей механической обработки. К таким элементам относятся отверстия под крепеж, шлицевые соединения, масляные каналы, соединяющиеся с системой управления.

Картеры АКП занеприводных автомобилей имеют в основном схожую конструкцию, при этом картер функционально состоит из трех частей:

- картер гидротрансформатора,
- картер коробки передач;
- хвостовик.

В некоторых АКП их конструктивно объединяют. Это повышает жесткость конструкции, уменьшает количество крепежа и обрабатываемых поверхностей, но затрудняет унификацию АКП для различных автомобилей и двигателей. Так, АКП фирмы MB мод. 722.0 и 722.1 имели отдельные все 3 картера, мод. 722.3, 722.4 и 722.5 имели только съемный хвостовик и массу вариантов картеров из-за большого разнообразия двигателей, а мод. 722.6 имеет отдельный изменяемый картер ГТ и единый картер редуктора с хвостовиком.

Картеры АКП переднеприводных автомобилей как правило функционально делятся на две части:

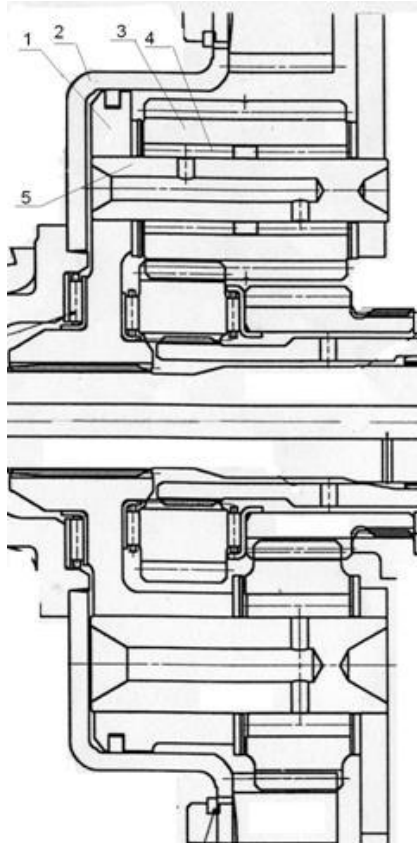
- картер гидротрансформатора, объединенный с картером главной передачи;
- картер планетарной коробки передач.

В некоторых случаях (например, АКП мод. 42LE) применяется моноблочный картер, в котором располагаются все узлы АКП.

Планетарные механизмы

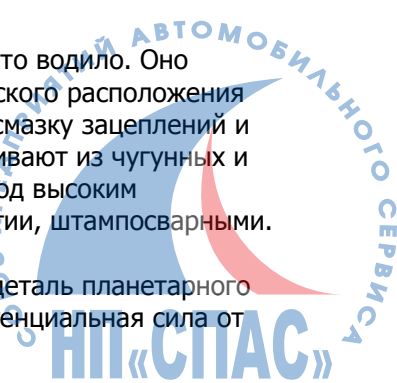
Планетарные механизмы состоят из центральных зубчатых колес с наружным зубом (солнечная шестерня), центральных зубчатых колес с внутренним зубом (коронная, или эпициклическая шестерня) и блока промежуточных шестерен (сателлитов), собранных в единый узел.

Вид типового водила.



- 1-корпус водила
- 2- экран-уловитель смазки
- 3-сателлит
- 4-игольчатый подшипник
- 5- ось сателлита

Самый сложный узел планетарного ряда - это водило. Оно должно обеспечивать точность геометрического расположения сателлитов, передачу крутящего момента, смазку зацеплений и подшипников сателлитов. Водила изготавливают из чугуновых и стальных отливок, алюминиевых сплавов под высоким давлением, методом порошковой металлургии, штампованными. Они бывают разборными и неразборными. Ось сателлитов 5 - наиболее нагруженная деталь планетарного ряда. На нее воздействует поперечная тангенциальная сила от



зубчатого зацепления, передаваемая через игольчатый подшипник 4 сателлита 3, поэтому она должна иметь высокую твердость поверхности (HRC 56-62) и вязкую сердцевину. Часто в осях сверлятся каналы для подвода смазки к подшипникам сателлитов. Оси сателлитов должны быть зафиксированы от проворота, чтобы исключить разбивание отверстия в водиле, и от продольных смещений. Для фиксации применяют раскернение осей, штифтование, кольца в канавках осей, приварку осей к стальному водилу и т.д. В любом случае фиксация должна быть надежной и компактной. Поэтому приварка осей - наименее предпочтительна из-за низкой надежности, хотя она и очень компактна.

Теоретически сателлиты разгружены от осевых сил, но реально за счет отклонений от идеальных геометрических форм и размеров осевые силы все-таки присутствуют. Для их восприятия применяются упорные подшипники скольжения, выполняемые, как правило, в виде набора стальных и бронзовых шайб. Первая шайба - стальная - прикрывает торцы игольчатого подшипника и защищает торец сателлита от износа. Вторая шайба - бронзовая - является антифрикционной. Третья шайба - стальная - предохраняет водило от износа. Желательно, чтобы третья шайба была зафиксирована от вращения.

Торцевой зазор между сателлитом и водилом должен быть 0.2-0.4 мм. В этом случае игольчатый подшипник работает как насос и засасывает масляный туман внутрь себя, таким образом самосмазываясь. Такого типа смазки достаточно, если относительная угловая скорость подшипника сателлита невысока, что бывает, если планетарный ряд работает только на понижающих передачах. С целью удешевления в массовом производстве шестерни термообработывают методом нитроцементации, поэтому их изготавливают из стали 20ХН3А и аналогичных.

Муфты свободного хода

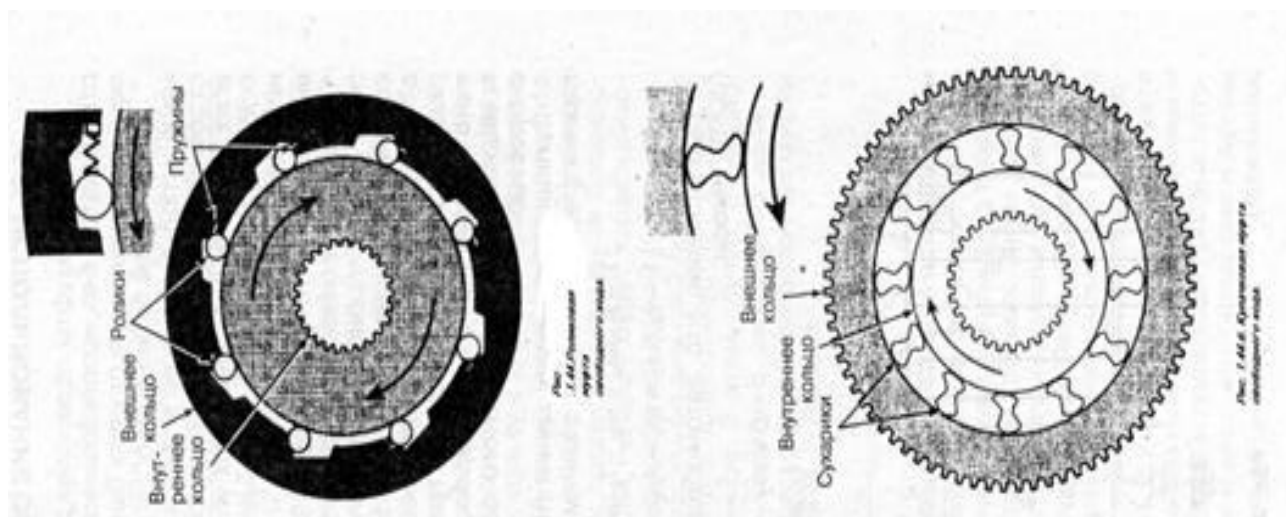
Муфты свободного хода широко применяются в АКП практически всех производителей. Их количество в некоторых АКП доходит до 3. Они обеспечивают хорошую плавность переключения передач, компактны и передают значительные крутящие моменты при минимальных габаритах. Чаще всего их применяют в качестве реактивного элемента на первой передаче, но используют и для передачи активного крутящего момента.

В АКП применяют два типа муфт свободного хода (МСХ):

- роликовые МСХ;
- кулачковые МСХ.



Типы муфт свободного хода.



Оба типа имеют свои преимущества и недостатки.. Так, роликовые МСХ имеют в качестве элемента заклинивания стандартный ролик, но при этом одна из обойм имеет технологически сложную форму. Кулачковые МСХ имеют обе обоймы простой цилиндрической формы, но элементы заклинивания - кулачки - имеют сложную геометрическую форму. Их производство очень специфично, поэтому его осуществляют специализированные фирмы (например, Borg Warner).

Контактные поверхности обойм МСХ требуют обязательную смазку, поскольку в большинстве случаев в разомкнутом состоянии заклинивающие элементы постоянно контактируют с обоймами. При этом относительная линейная скорость в контакте может превышать 60 м/с. С этой точки зрения лучше, если наружная обойма вращается, а внутренняя неподвижна. В этом случае центробежная сила, действующая на заклинивающие элементы, отжимает их от внутренней обоймы, уменьшая трение и износ МСХ.

Обоймы и элементы заклинивания изготавливают из подшипниковых сталей типа ШХ 15 с закалкой до твердости 58...62 HRC.

Валы и опоры

В планетарных коробках передач валы передают только крутящий момент, поэтому от них не требуется высокой жесткости на изгиб. Валы изготавливаются из легированных цементруемых малоуглеродистых хромоникелиевых сталей. Такие стали хорошо поддаются ковке, раскатке, сварке, накатке шлиц, поверхностному упрочнению участков под подшипники и канавок под

уплотнительные кольца. Можно также использовать и нитроцементируемые стали, если не требуется большой глубины закаленного слоя, что, например, необходимо для игольчатых подшипников.

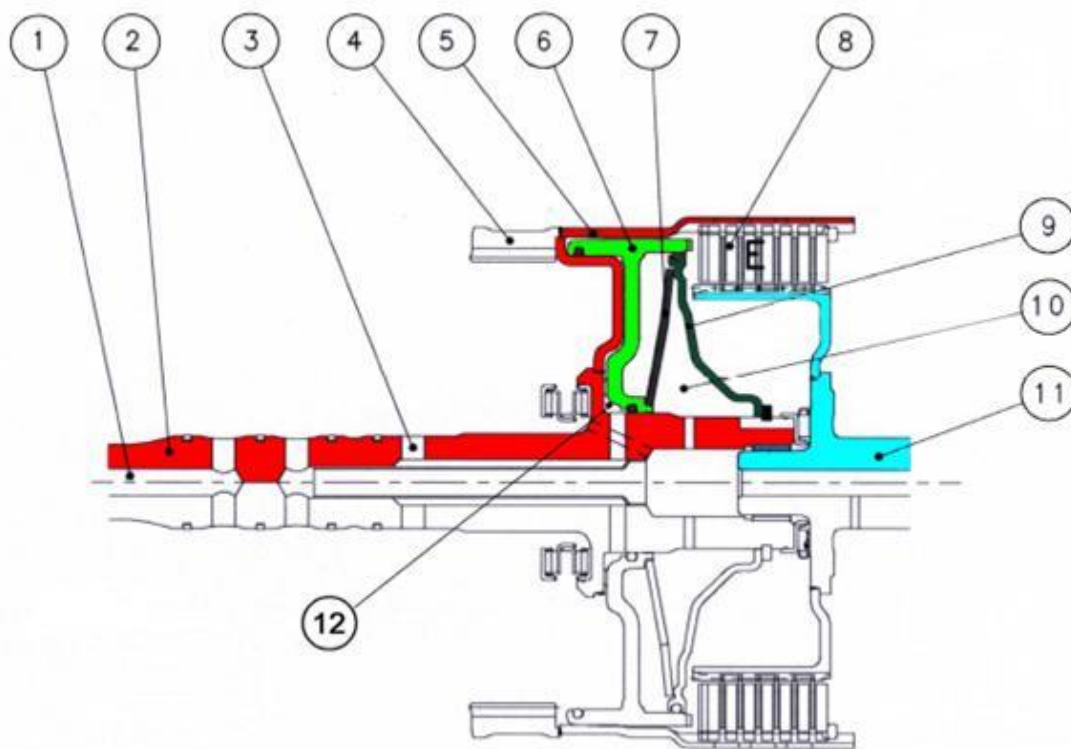
Дисковые сцепления и тормоза

Наиболее часто в качестве элементов управления используются дисковые сцепления и тормоза. Указанные фрикционные элементы позволяют получить большие поверхности трения по сравнению с ленточными тормозами, а также обеспечить более высокое качество переключения передач. Принцип работы дискового тормоза не отличается от принципа работы блокирующего сцепления, при этом тормоз соединяет какое-либо звено АКП с картером, а блокирующее сцепление соединяет какие-либо два звена АКП между собой.

Корпуса сцеплений и тормозов

В АКП ранних конструкций корпуса сцеплений изготавливались механической обработкой из стальных или чугунных заготовок. Увеличение масштабов производства потребовало применения более дешевых способов, таких, как листовая штамповка или порошковая металлургия.

Пример конструкции сцепления штампованной конструкции.



- 1- канал подвода в гидротрансформатор
- 2- ведущий вал
- 3- канал подвода к поршню сцепления
- 4- связанная с корпусом сцепления коронная шестерня
- 5- корпус сцепления
- 6- поршень
- 7- отжимная тарельчатая пружина
- 8- комплект дисков сцепления
- 9- центробежная разгрузка

Такие способы позволяют получать корпуса с минимальными отходами исходного металла. В последнее время все чаще корпуса изготавливаются из алюминиевых сплавов литьем под высоким давлением. При применении любого из этих методов практически без дополнительной механической обработки выполняются цилиндрические поверхности, шлицевые элементы, фаски и т.д. Механической обработкой изготавливают канавки для уплотнительных и стопорных колец и обеспечивают необходимую чистоту поверхностей.

Уплотнения поршней сцеплений.

Уплотнения поршней, как правило, изготавливаются из резины. Применяются уплотнения круглого, прямоугольного и Г-образного сечения. Прямоугольное сечение наименее предпочтительно, так как при необходимом радиальном натяге, обеспечивающем требуемую герметичность, создает значительное трение. Иногда для его уменьшения поверхность уплотнительного кольца, обеспечивающую подвижный контакт, изготавливают скругленной радиусом 1.5-2.0 мм. Самым предпочтительным является Г-образное сечение. Для уменьшения габаритов иногда такое кольцо вулканизируют прямо к штампованному поршню, что удорожает его стоимость, особенно при ремонте АКП.

Сливные клапана.

В полости между корпусом и поршнем в выключенном сцеплении остается рабочая жидкость, которая за счет центробежного давления, возникающего при вращении сцепления, может создать значительное усилие $P_{ц}$ на поршень, определяемое формулой:

$$P_{ц} = \frac{\pi}{4} \rho \omega^2 (R_1^2 - R_2^2 - 2R_0^2)$$

где $P_{ст}$ - статическое давление жидкости;

R_1 - наружный радиус поршня;

R_2 - внутренний радиус поршня;

R_0 - радиус подвода жидкости;

ω - частота вращения цилиндра;

ρ - плотность жидкости.

Для максимального снижения этого эффекта применяются сливные клапаны, располагаемые на максимально возможном радиусе корпуса (рис.). Фирма Хонда применяет пластинчатые сливные клапана (рис...). Крайне редко применяются также постоянно открытые сливные отверстия, требующие значительного увеличения производительности масляного насоса.

Конструкция отжимных устройств.

Отжимные устройства необходимы для возврата поршня в исходное положение и обеспечения тем самым необходимого зазора между дисками в выключенном состоянии. Отжимные устройства, как правило, пружинные, реже гидравлические и иногда комбинированные. Пружинные делятся на центральные и периферийные. Центральные содержат одну жесткую короткоходную пружину, соосную с осью вращения корпуса сцепления. Пружины могут быть как витыми, так и тарельчатыми (пружинами Бельвиля). Периферийные пружины выполняются в виде блока из нескольких (6-12) пружин, расположенных по окружности. Поскольку на каждую из периферийных пружин действует центробежная сила, изгибающая и сдвигающая их, они должны иметь хорошо развитые направляющие, препятствующие всяческому радиальным перемещениям пружин. Суммарная сила отжимных устройств должна быть настолько большой, чтобы обеспечить возврат поршня за минимальное время, но в то же время слишком большая отжимная сила потребует увеличения либо давления, либо площади поршня для сжатия дисков требуемой силой. Обычно отжимная сила не должна превышать 10% от требуемой сжимающей силы. При этом время выключения сцепления не должно превышать 0.2 секунды. В последнее время для исключения влияния центробежного давления применяется устройство центробежной разгрузки поршня, состоящее из перегородки со стороны поршня, обратной рабочей, неподвижной в осевом направлении, но вращающейся вместе с корпусом сцепления. Полость, образованная поршнем и перегородкой, заполняется жидкостью из системы смазки, и центробежное давление в этой полости уравнивает центробежное давление, возникающее в рабочей полости под поршнем. Это позволяет уменьшить усилие отжимных пружин, отказаться от сливных клапанов и стабилизировать работу сцепления.

Диски сцеплений.

Диски сцеплений делятся обычно на стальные и фрикционные. Стальные диски в свою очередь подразделяются на нажимные, промежуточные и опорные. Стальные диски изготавливаются из среднеуглеродистой стали типа Ст 55, поскольку такие стали обладают максимальной теплоемкостью. Промежуточные диски изготавливают листовой рубкой из специального стального проката с высокой чистотой поверхности. В последнее время начали применяться листы не с полированной поверхностью, а имеющей специально нанесенный микрорельеф для удержания масляной пленки. Толщина промежуточных дисков должна быть такой, чтобы поглотить тепло, выделяемое в процессе включения (буксования) сцепления, при этом температура поверхности диска не должна повыситься более чем на 15° за одно включение.



Опорный диск самый нагруженный. Его жесткость определяет работоспособность всего сцепления. Поэтому его делают довольно толстым - 4~6 мм. Иногда для придания большей жесткости его сечение делают L-образным.

Фрикционный диск состоит из основы - стального диска толщиной 0.8-1.0 мм и приклеенных к нему фрикционных накладок толщиной 0.4~0.6 мм. Фрикционные накладки в современных АКП изготавливаются из бумажных композиций с различными наполнителями, обеспечивающими в совокупности с соответствующей рабочей жидкостью необходимые качества. Так, за счет примененных наполнителей можно, например, повысить коэффициент трения, либо максимальную температуру, выдерживаемую накладкой, либо максимально допустимое усилие сдвига. Конечно, увеличение одного параметра приводит к снижению других. В последнее время применяются диски с накладкой, приклеенной с одной стороны, т.е. каждый диск является как стальным, так и фрикционным. Это делается для того, чтобы в теплоотводе участвовала вся масса металла. Это улучшает работу сцепления, но и удорожает стоимость самих дисков.

На поверхности фрикционных накладок наносятся канавки для прохождения жидкости, необходимой для смазки и теплоотвода во время включения сцепления. Форма канавок влияет на коэффициент трения дисков и на потери крутящего момента в выключенном состоянии. Наиболее универсальным рисунком канавок является «вафля». Но форма канавок влияет и на потери крутящего момента при выключенном сцеплении. Наибольшие потери крутящего момента создают гладкие накладки. При зазоре между дисками менее 0,15 мм на пару трения эти потери также резко возрастают (примерно в 1.5 раза), а при увеличении зазора до 0,6 мм снижаются крайне незначительно (примерно на 20%). Необходимо отметить, что канавки занимают от 10 до 20% площади накладки, и это следует учитывать при расчете сцепления на нагрев.

Многие фирмы применяют не плоские, а волнистые фрикционные диски. Высота волны делается обычно 0.3-0.5 мм. Это позволяет уменьшить суммарную поверхность трения дисков в выключенном состоянии, что также снижает потери крутящего момента. Кроме того, такие диски позволяют улучшить плавность включения сцепления. Зазоры между трущимися поверхностями при таких дисках значительно меньше - 0,05 мм, но ход поршня определяется суммой зазоров и толщиной дисков в сжатом состоянии. Так, при 5 дисках с высотой волны 0.4 мм и зазором между поверхностями трения 0.05 мм ход поршня H будет равен:

$$H=5*0.4+5*2*0.05=2,5 \text{ мм.}$$

При плоских дисках и зазоре 0.15 мм ход поршня будет меньше:

$$H=5*2*0.15=1.5 \text{ мм.}$$

Ленточные тормоза

Для управления автоматическими коробками передач (остановки звеньев планетарного ряда) наряду с дисковыми тормозами применяются также ленточные тормоза. Ленточный тормоз включает два основных элемента: тормозную ленту и тормозной барабан. Управление ленточным тормозом осуществляется с помощью сервопривода. Крутящий момент, воспринимаемый ленточным тормозом, определяется по известным формулам, при этом воспринимаемый крутящий момент зависит от направления вращения барабана.

Если направление вращения совпадает с направлением усилия, затягивающего ленту, то крутящий момент определяется по формуле:

$$M_{\Phi} = P_{л} (e^{\mu\alpha} - 1) r_{б} \quad (1.17),$$

где $P_{л}$ - усилие, затягивающее ленту в H .

$r_{б}$ - радиус барабана в м;

μ - коэффициент трения;

α - угол охвата барабана лентой;

$e = 2,72$.

Если направление вращения противоположно направлению усилия, затягивающего ленту, то момент определяется по формуле:

$$M_{\Phi} = \frac{P_{л} (e^{\mu\alpha} - 1) \cdot r_{б}}{e^{\mu\alpha}} \quad (1.17a)$$

При этом давление q возрастает от одного конца ленты к другому против направления вращения. Требуемая ширина ленты определяется по формуле:



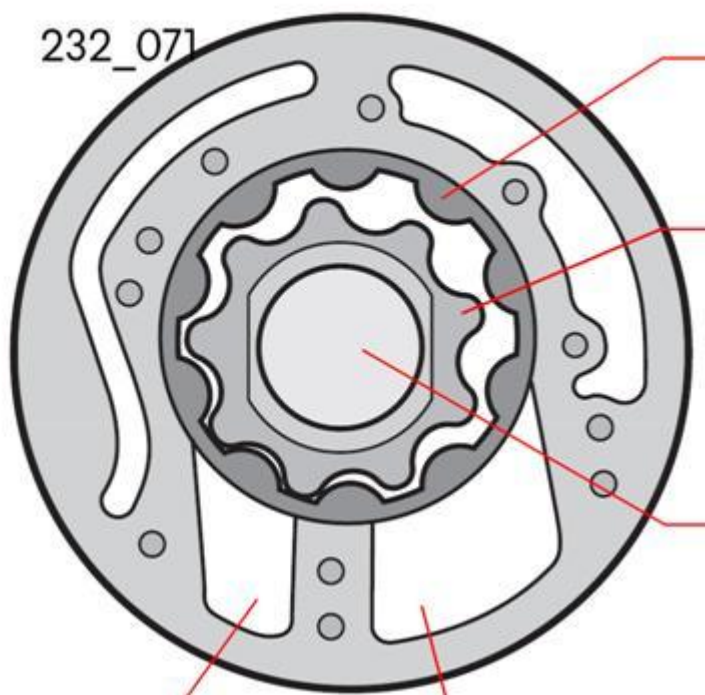
$$b = \frac{P_{\pi}}{r_{\text{б}} \cdot q}, \text{ где } b \text{ – ширина ленты.}$$

Тормозная лента используется с фрикционными накладками, при этом статический коэффициент трения в масле по стали обычно равен 0,12 – 0,16. Допустимое давление q изменяется в широких пределах от 1 до 5 МПа в зависимости от применяемых материалов накладок и условий работы. Тормозные ленты изготавливаются из полосы листовой стали, на которой закрепляется специальная фрикционная накладка. Накладки изготавливаются из асбеста, металлокерамики, специальной бумаги и пластических материалов. Для сильно нагруженных ленточных тормозов используются металлокерамические накладки. В АКП легковых автомобилей обычно используются накладки на бумажно-целлюлозной основе, которые не вызывают большого износа поверхности барабана, а также из кевлара. Барабаны ленточных тормозов изготавливаются из качественной стали. Все же ленточные тормоза ввиду их повышенной склонности к износу и менее плавного процесса переключения в последние годы используются реже. Вместе с тем, в некоторых случаях использование ленточных тормозов вместо дисковых позволяет уменьшить поперечные габариты АКП. Например, в связи с этим они применяются на некоторых АКП с поперечным расположением двигателя, что способствует увеличению дорожного просвета автомобиля.

Масляные насосы.

Как правило, в АКП применяются шестеренные насосы внутреннего зацепления с неподвижным разделителем (серпом), но также встречаются насосы пластинчатые регулируемые, бессерповые героторные и совсем редко наружного зацепления (Honda).

Масляный насос героторного типа.



Насос АКП выполняет две функции: создает давление для функционирования системы управления и сжатия включаемых сцеплений, и обеспечивает подачу масла для охлаждения и смазки АКП. При давлении 1-1.2 МПа и рабочей температуре 100°C утечки в масляной системе составляют 3-5 л/мин. Для охлаждения и смазки требуется 4-6 л/мин при давлении 0.2-0.3 МПа. В современных АКП всю эту подачу обеспечивает единый насос, качающий 10-12 л/мин на 1000 оборотов насоса при давлении 1-1.2 МПа (на полной нагрузке двигателя).

Оценка топливной экономичности и динамических качеств автомобилей с АКП.

В современных автомобилях в основном используются три типа АКП: четырех, пяти и шестиступенчатые. Представление о сложности их конструкции дают приведенные выше кинематические схемы. Все варианты объединяет то, что они включают гидротрансформатор и планетарную коробку передач с фрикционными элементами (многодисковыми сцеплениями и тормозами). Отличия касаются, главным образом, конструкции планетарных коробок. Данные по расходам топлива обычно базируются на стендовых испытаниях автомобиля с беговыми барабанами и основываются на европейском стандарте (EU), который введен с 01.01.1996 г. Данные по величинам q_T (расход в городском цикле) и q_3 (расход в загородном цикле) публикуются производителями автомобилей в соответствующих проспектах и каталогах. Для более полной оценки используется также понятие расхода в смешанном цикле q_c , который учитывает время работы автомобиля как в городских, так и в загородных условиях. Величина q_c определяется по формуле:

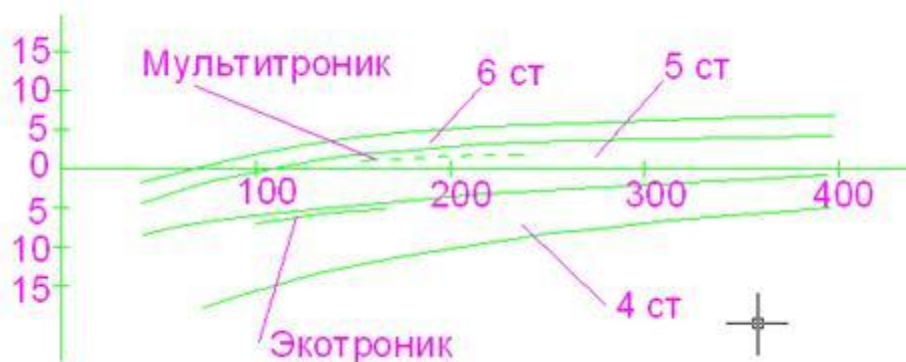
$$q_c = 0,36q_T + 0,64q_3$$

Величины q_c и q_3 могут быть определены как экспериментально, так и расчетом. Определение указанных параметров расчетными методами имеет важное значение при проведении поисковых работ на стадии проектирования, так как позволяет глубже понять влияние отдельных параметров двигателя и трансмиссии на топливную экономичность автомобиля и более обоснованно подойти к выбору ряда конструктивных параметров.

Отметим также, что иногда расход топлива указывается по стандарту ECE, в котором приводится расход топлива для скоростей 90 км/час и 120 км/час, а также в городском цикле (q_T).

Приводимые ниже исследования в основном базируются на данных смешанного цикла q_c , как наиболее полно соответствующих реальному расходу топлива при эксплуатации автомобиля.

Расход топлива в смешанном цикле автомобиля с различными типами трансмиссий в зависимости от мощности двигателя (в кВт).



Здесь показана зависимость топливной экономичности автомобиля в смешанном ездовом режиме. Данные получены путем сравнения расхода топлива одинаковых моделей автомобилей, оснащенных автоматическими коробками передач АКП и с ручным переключением – (МКП). При этом

$$\varphi_T = 1 - \frac{q_{ca}}{q_{cm}}$$

используется параметр φ_T , где q_{ca} и q_{cm} – расходы топлива автомобилем в смешанном цикле с автоматической (АКП) и механической (МКП) коробками передач соответственно.

Положительные значения φ_T показывают экономию топлива в % в смешанном цикле у автомобилей с автоматическими коробками передач по сравнению с автомобилями с механическими коробками передач, а отрицательные – перерасход. При $\varphi_T = 0$ топливная экономичность АКП и МКП совпадают. Рассмотрение представленного графика позволяет установить следующее. С увеличением мощности двигателя недостатки АКП перед МКП уменьшаются. Это связано с тем, что при большей мощности удельный вес дополнительных потерь (дисковых и на привод масляного насоса для системы управления) снижается. Из этого рисунка также видно, что большое влияние на топливную экономичность оказывает диапазон изменения передаточных чисел в коробке передач. С увеличением диапазона легче обеспечить работу двигателя по кривой минимального удельного расхода топлива или близкой к ней. В результате, чем больше диапазон, тем выше к.п.д. двигателя и лучше показатели автомобиля.

Четырехступенчатая АКП обычно включает два планетарных ряда, управляемых пятью фрикционными элементами. Это обеспечивает относительную компактность, благодаря чему эти АКП находят широкое применение на задне- и переднеприводных автомобилях малого и среднего класса, как с продольным так и с поперечным расположением двигателя. Их основным недостатком — невысокий кинематический диапазон $D_k = 3,5 - 4,3$, что отрицательно отражается на расходе топлива. При этом четырехступенчатые АКП уступают как пятиступенчатым механическим коробкам передач, так и АКП, которые имеют пять или шесть передач.

Пятиступенчатые АКП, имеющие диапазон $D_m = 4,5 - 5,0$, значительно экономичнее своих четырехступенчатых предшественниц, что видно из рис. 2.3. Их наиболее удачные представители — коробки модели 722.6 фирмы Mercedes- обеспечивают автомобилям снижение расхода топлива в смешанном цикле на 2-3% даже в сравнении с пятиступенчатыми механическими коробками передач. Можно предположить, что такие высокие показатели удалось получить благодаря рациональной кинематической схеме, позволившей реализовать плотный ряд передаточных чисел на высших передачах, что обеспечило экономическую работу двигателя по кривой, близкой к минимальному расходу топлива. Вместе с тем необходимо отметить, что для реализации пятиступенчатой АКП приходится дополнять конструкцию третьим планетарным рядом, что увеличивает массогабаритные показатели примерно на 10-20% по сравнению с четырехступенчатыми АКП. Отметим, что не все пятиступенчатые АКП имеют лучшую топливную экономичность по сравнению с МКП.

Однако благодаря тому, что кинематический диапазон пятиступенчатых АКП больше, чем у четырехступенчатых АКП, они превосходят четырехступенчатые АКП. При этом указанные зависимости с учетом разброса показаны в виде полосы.

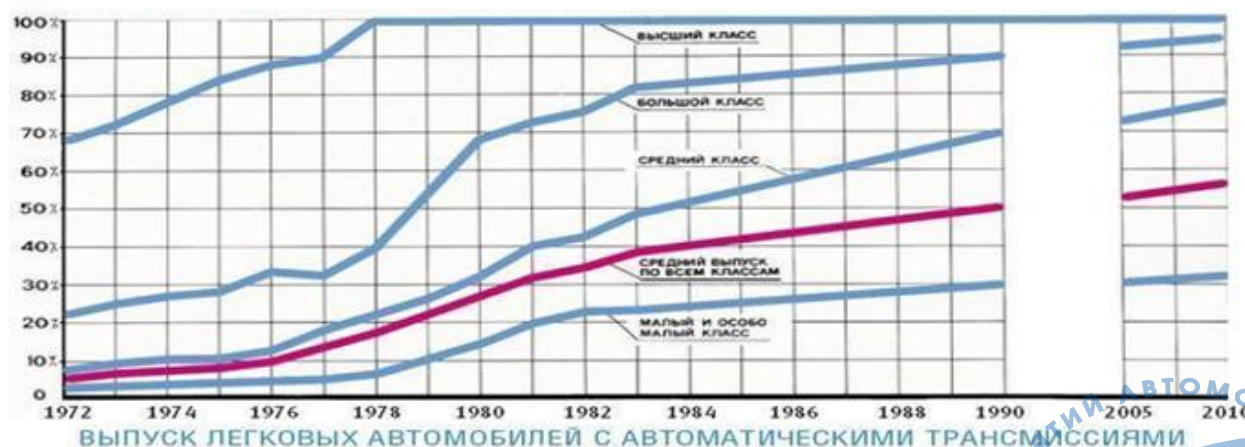
Дальнейшее улучшение показателей как по топливной экономичности, так и по разгонным качествам позволяют реализовать шестиступенчатые АКП, выполненные по схеме Лепелетье.

Напомним, что этот планетарный редуктор имеет диапазон $D_m = 6,04$ и весьма удачную кинематическую схему,

которая позволяет реализовать шесть ступеней (включая две повышающие передачи), что обеспечивается практически двумя планетарными рядами и пятью фрикционными элементами. По указанным причинам эта шестиступенчатая АКП (например, ZF) компактнее и легче на 13% предшествующей ей пятиступенчатой коробки 5-HP-24. Упрощение конструкции планетарной передачи позволило не только улучшить массогабаритные характеристики коробки передач, но также и способствовало уменьшению потерь.

Статистические данные о производстве автоматических трансмиссий различных типов

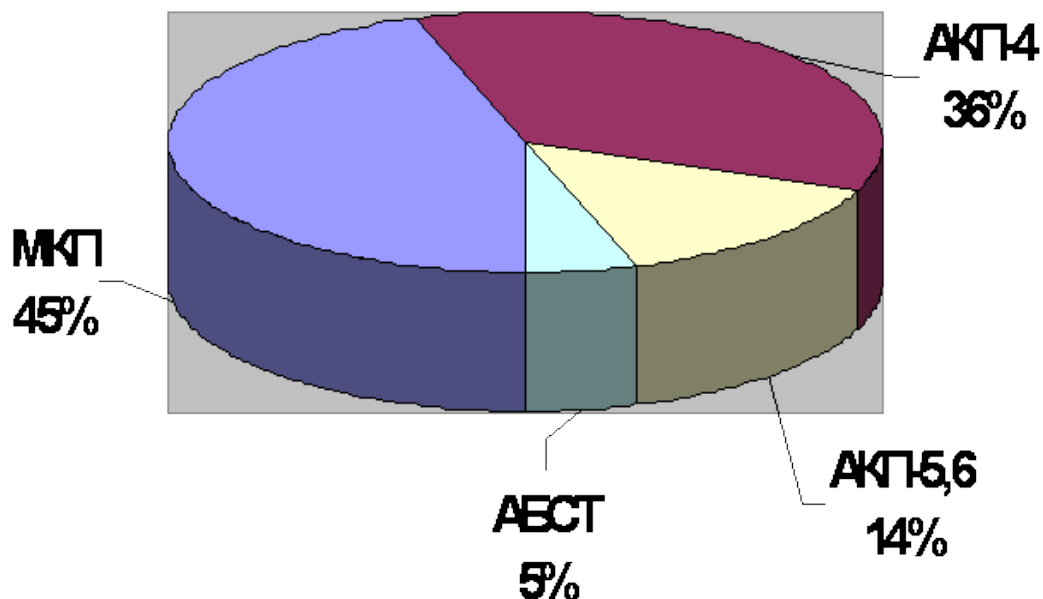
Статистический анализ современного легкового автопарка, сложившегося в 2005 г. показывает, что более половины (примерно 55%) из почти 40 млн. выпускающихся в год во всем мире автомобилей, оснащаются автоматическими коробками передач. На оставшиеся 45% устанавливаются механические, в основном, пяти- и шестиступенчатые коробки передач.



Доля АКП из года в год возрастает, что не противоречит общей тенденции автоматизации всех систем автомобиля. Нет сомнений, что устойчивый рост доли автомобилей с автоматическими трансмиссиями ожидается и в ближайшем будущем. При сегодняшнем темпе роста к 2010 г. доля АКП увеличится до 60%, оставив МКП лишь 40%. Если говорить о структуре АКП, то на сегодняшний день она выглядит следующим образом. Большую часть составляют четырехступенчатые АКП, ими

оснащено примерно 36% автомобилей. Меньшая доля (около 14%) за 5 и 6 ступенчатыми АКП. Число производимых АБКП пока мало и оценивается примерно в 2 млн штук, или 5% (см. рис. 2.5.).

Соотношение производства различных типов трансмиссий по всем классам автомобилей.

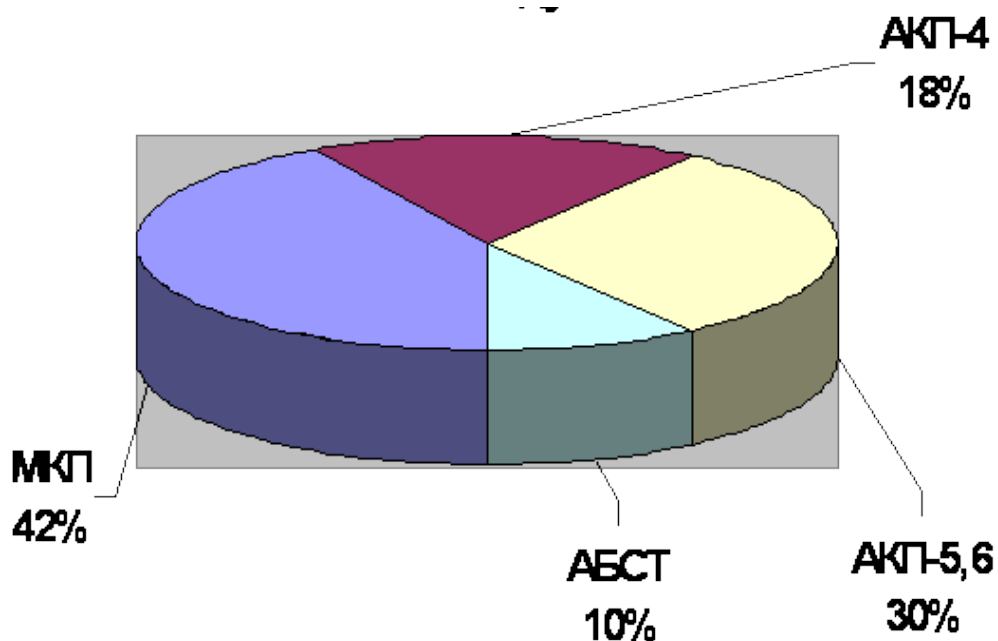


Однако уже **сегодня** заметна тенденция к изменению соотношения различных типов «автоматов». Главным фактором, который воздействует на этот процесс, является стремление сделать автомобиль более экономичным. Это позволит не только снизить эксплуатационные расходы, но и улучшить экологическую обстановку, о состоянии которой беспокоятся все страны. Поэтому при выборе той или иной трансмиссии для своих автомобилей автопроизводители будут отдавать предпочтение наиболее экономичным. Причем нужно иметь в виду, что даже незначительный, на первый взгляд, но устойчивый выигрыш в экономии топлива на уровне нескольких процентов может оказать решающее значение. Поскольку, помимо топливной экономичности, для автомобильной трансмиссии не менее важны массогабаритные и стоимостные характеристики, будем учитывать и эти критерии. Четырехступенчатые АКП уступают как механическим АКП, так и пяти- и шестиступенчатым АКП по топливной экономичности. Их главное преимущество — сравнительно небольшие габариты, меньшая стоимость и отработанность конструкции, что позволяет их использовать на автомобилях малой мощности. В ближайшее время их выпуск будет сокращаться, а область применения сужаться до автомобилей с двигателями, мощность которых не превышает 150 л.с. В плане топливной экономичности, а также динамических качеств приоритет за пяти- и шестиступенчатыми АКП. Тот факт, что в шестиступенчатой АКП удалось улучшить массогабаритные показатели по сравнению с пятиступенчатыми, позволяет предположить, что область применения шестиступенчатых АКП будет расширяться, а их стоимость будет снижаться до 6-10% от стоимости машины, а возможно и ниже.

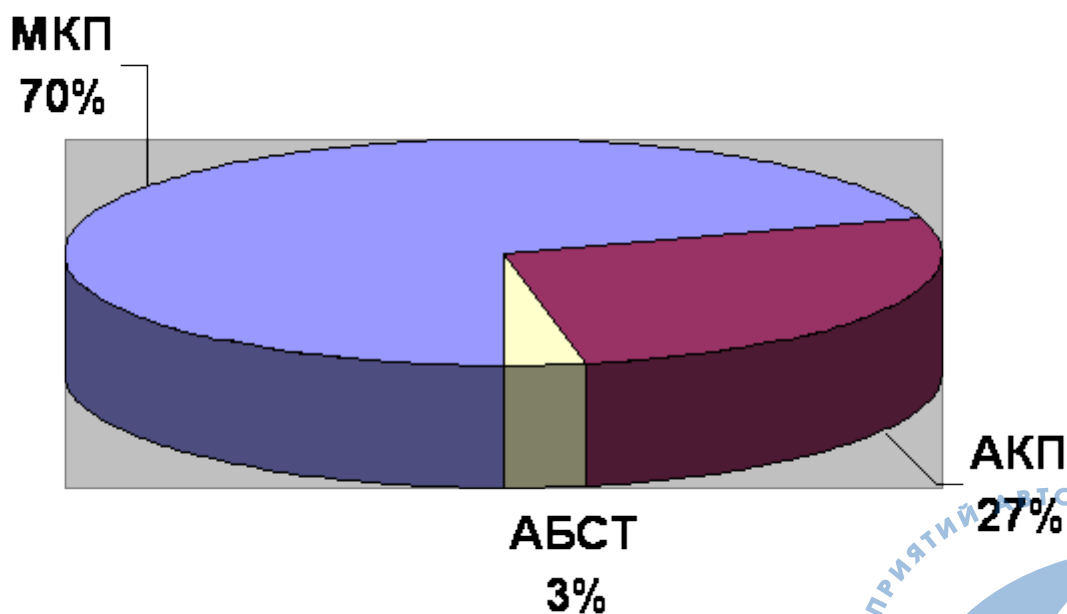
Что касается автоматических трансмиссий с АБКП, то сложившаяся обстановка такова. Характерный представитель АБКП вариатором VDT — Ecotronic — в области небольших мощностей демонстрирует экономичность на уровне лучших четырехступенчатых АКП, но уступает пяти- и шестиступенчатым. Благодаря компактной конструкции и низкой стоимости такие автоматические бесступенчатые коробки передач являются привлекательными для недорогого автомобиля малой мощности.

Несмотря на болезни роста, количество производимых АБКП будет увеличиваться и оказывать существенное влияние на соотношение выпускаемых трансмиссий. С учетом изложенного можно предположить, что соотношение к 2010 изменится примерно следующим образом, к 2010 г.-2015 г. основная доля легковых автомобилей (41%) будет оснащаться пяти- и шестиступенчатыми АКП. Они будут применяться во всем диапазоне мощностей, исключая самые маленькие автомобили. Машин с

четырёхступенчатыми автоматами станет меньше (15% от общего количества), и использоваться они будут в основном на автомобилях до 150 л.с. Количество автомобилей с бесступенчатыми трансмиссиями возрастет и составит около 10%. Увеличение будет происходить за счет автомобилей с двигателями малой и средней мощности. Пока нет достаточных оснований, чтобы говорить о более стремительном увеличении выпуска АКП, так как это потребует введения новых производственных мощностей и длительной технологической подготовки, что едва ли осуществимо за одно пятилетие. Прогноз на соотношение между типами трансмиссий к 2010 году.

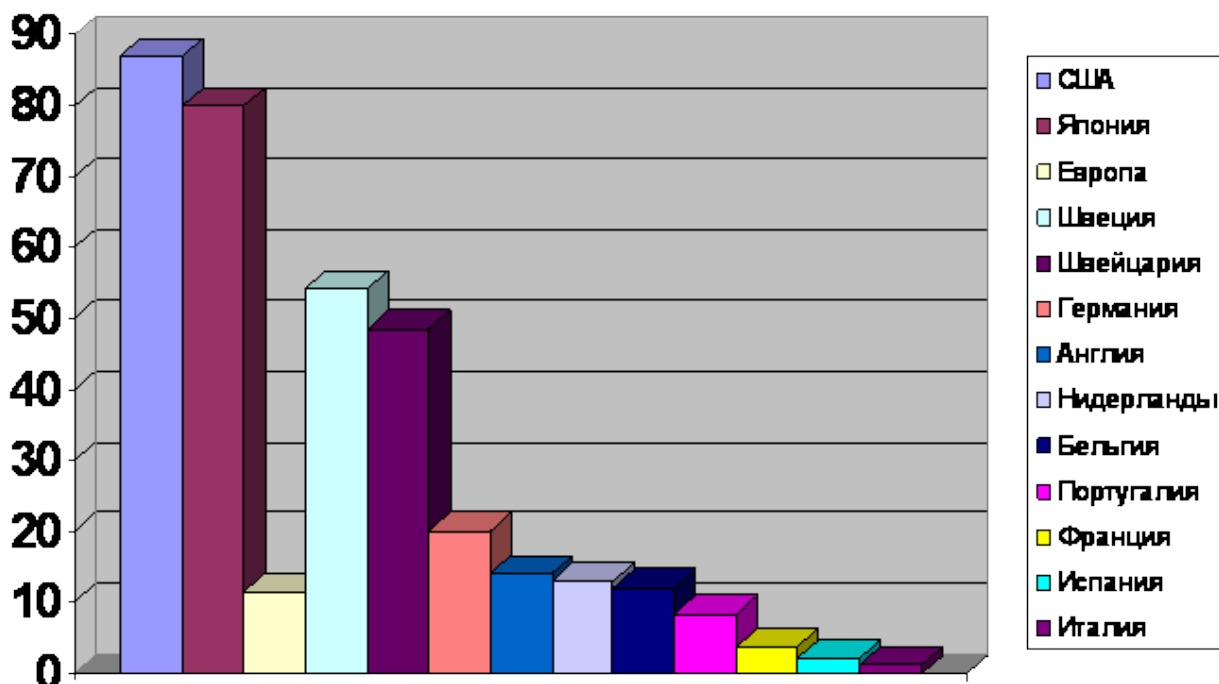


Распределение типов трансмиссий среди автомобилей малого класса



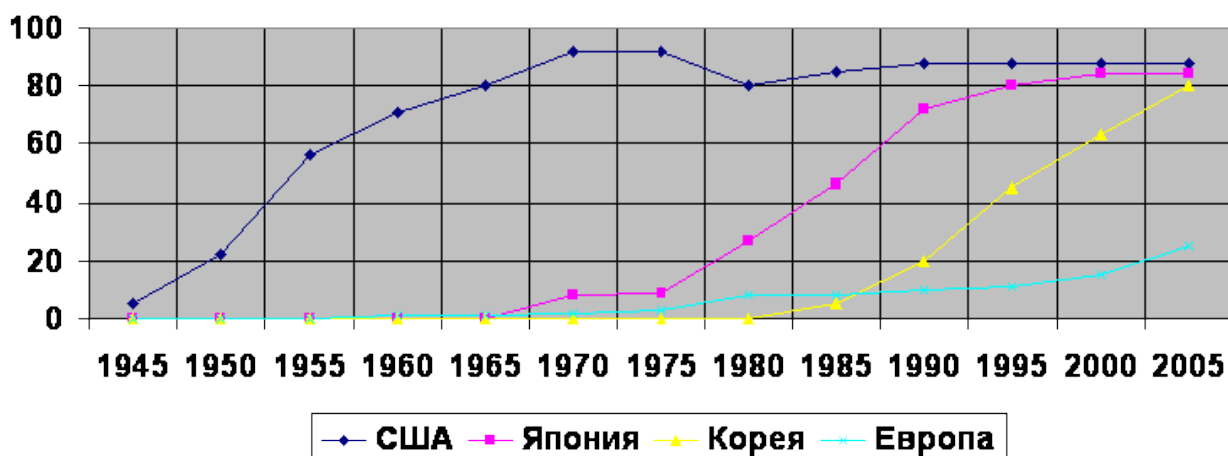
Количество автомобилей с АКП в разных странах неоднородно. Наибольшую насыщенность их можно отметить в странах с большим доходом населения, потребляющих более дорогие автомобили и менее зависящих от стоимости топлива.

Рис. 2.8. Насыщенность автопарков различных стран автомобилями с АКП.

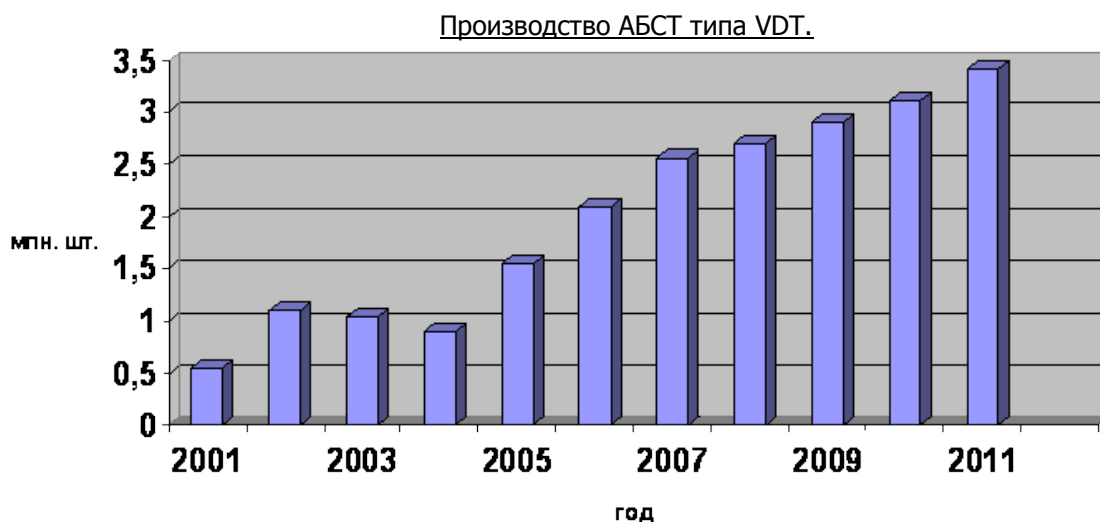


Производство АКП сосредоточено в основном в США (около 7 млн. АКП), Японии (около 8 млн. АКП), Корею, Германии и Франции. Некоторое количество (в основном, сборочные заводы) находятся в Индии, Бельгии, Австралии, Китае. Естественно, что и производство автомобилей с АКП в основном сосредоточено там же, хотя некоторые фирмы, например, Volvo, устанавливает АКП производства AisinWarner, находящейся в Японии и принадлежащей Toyota. Доля производимых в этих странах автомобилей с АКП максимальна.

Рис. 2.9. Производство АКП в разных странах.



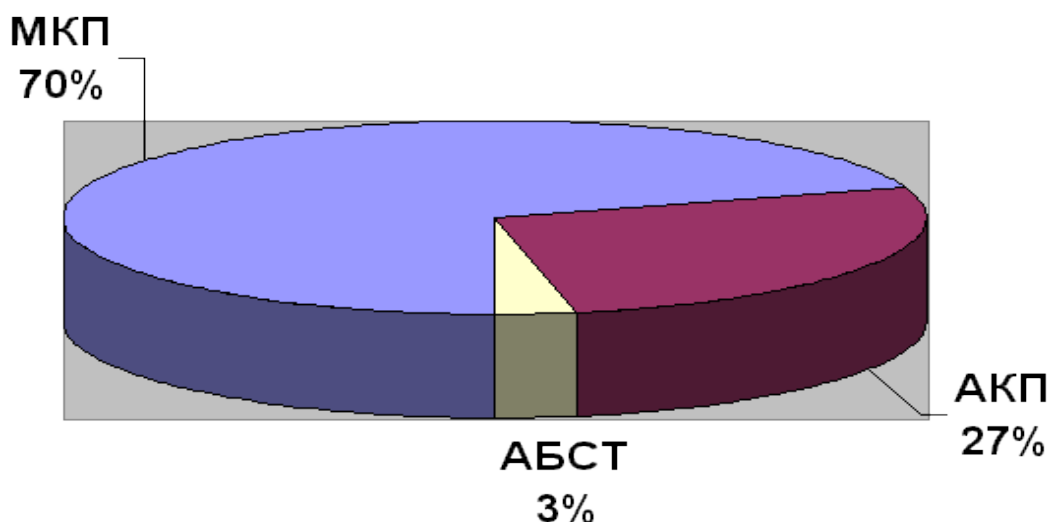
Очень динамично развивается производство АБСТ. Львиную долю среди них занимают АБСТ с гибким элементом типа VDT. Рост их производства стал возможен после того, как эту фирму приобрел концерн Bosch.



В целом увеличение доли перспективных высокоэкономичных автоматических трансмиссий с диапазоном регулирования $D_k = 5,0-6,2$ (АКП-5, АКП-6 и АБКП) позволит уменьшить потребление топлива на 3-7%, соответственно снизив выброс токсичных веществ, а главное позволит облегчить управление автомобилем, что также положительно скажется на повышении безопасности движения.

**Справка по автоматическим коробкам передач (АКП)
Для автомобилей малого класса (класса В) с двигателями 1.6-1.8 л.**

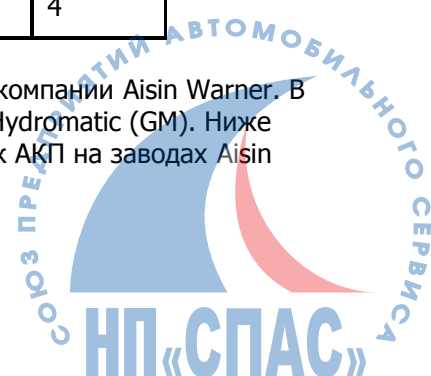
Этот класс автомобилей широко представлен на рынке России. Его выпускают все европейские и азиатские производители. Практически все модели этого класса предлагаются с АКП в качестве опции. Поскольку этот класс автомобилей является экономичным, то есть дешевым, то и устанавливаемые АКП также должны быть самыми дешевыми. По данным компании CSM Worldwide,



традиционные 4-ступенчатые АКП обходятся производителю в 300-400 евро, передачи с 2 сцеплениями в 950 евро, а бесступенчатые до 1400 евро. Исходя из этих соображений, за редким исключением этот класс автомобилей и обеспечивается именно 4-ступенчатыми АКП. Сравнить стоимости разных вариантов трансмиссий можно на примере автомобилей VW Golf и Polo. Так, доплата по сравнению с 6-ступенчатой МКП за установку 6-ступенчатой АКП на автомобиль VW Golf составляет в среднем 2000\$, за установку DSG 1800\$, а доплата за установку 4-ступенчатой АКП на автомобиль VW Polo составляет 1070\$.

NN	Фирма	модель	Начало произв.	Модель АКП	Произв. АКП	Кол-во передач
1	Audi	A3	2003	09D	Aisin Warner	6
2	Chery	CVT				4
3	Chevrolet	Aveo	2003		Aisin Warner	4
4	Citroen	C2	2003	AL4	PSA	
5	Citroen	C3	2002	AL4	PSA	4
6	Daewoo	Nubira	2003		Daewoo	4
7	FIAT	Marea	1996	AW5040	Aisin Warner	4
8	Ford	Focus II	2005	4F27		4
9	Honda	Civic	2001		Honda	4
10	Hyundai	Elantra	2003	4F22	Hyundai	4
11	Kia	Cerato	2004			4
12	Kia	Rio	2002			4
13	Kia	Spectra	2004			4
14	Mazda	3	2004	4F27		4
15	Mini	Cooper	2004		Aisin Warner	6
16	Nissan	Almera	2002	RE4F03A	JATCO	4
17	Opel	Corsa	2003	AW5055	Aisin Warner	5
18	Peugeot	307	2001	AL4	PSA	4
19	Renault	Simbol	2002	AL4(DP0)	PSA	4
20	SEAT	Ibica	2002	F03A	JATCO	4
21	Skoda	Fabia	2004	F03A	JATCO	4
22	Suzuki	Ignis	2003		Aisin Warner	4
23	Toyota	Yaris	2003		Aisin Warner	4
24	WV	Polo	2005	F03A	JATCO	4

Как видно из таблицы, широко используются различные АКП производства компании Aisin Warner. В этом классе автомобилей не выпускают АКП такие монстры, как ZF, Ford и Hydromatic (GM). Ниже представлены основные потребители продукции этой фирмы. Общий выпуск АКП на заводах Aisin Warner в 2005 году превысил 5 млн штук в год.



Front-Wheel drive vehicles



3-speed AT for mini vehicles

- * Ultra lightweight
- * Compact
- * Main vehicles equipped with this AT:
SUZUKI ALTO (parts)
MAZDA CAROL (parts)
and other vehicles

3-speed AT for mini vehicles

- * High Cost Performance
- * Compact
- * Main vehicles equipped with this AT:
MITSUBISHI eK-WAGON, **MINICA**
NISSAN OTTI
and other vehicles



3-speed AT for small vehicles

- * High Cost Performance
- * Compact
- * Main vehicles equipped with this AT:
PROTON PERDANA
and other vehicles



4-speed AT for mini vehicles

- * Ultra lightweight
- * Compact
- * Main vehicles equipped with this AT:
MITSUBISHI eK-WAGON, **eK-SPORT**,
NISSAN OTTI
and other vehicles



4-speed AT for mini and 1-liter class vehicles

- * Top class, ultra-light design
- * Compact exterior appearance
- * Main vehicles equipped with this AT:
SUZUKI WAGON R, **MR WAGON**, **CERVO**
NISSAN MOCO, **PINO**
MAZDA AZ-WAGON, **SPIANO**
HYUNDAI ATOZ
KIA MORNING
GM DAEWOO MATIZ
and other vehicles



4-speed AT for small vehicles

- * Compact exterior appearance
- * Top class, ultra-light design
- * Worldwide use complying to any possible environment
- * High degree of reliability providing customer satisfaction
- * Main vehicles equipped with this AT:
VW POLO, LUPO
SEAT AROSA
SKODA FABIA
and other vehicles



4-speed AT for small and medium vehicles

- * Compact exterior appearance
- * Top class, ultra-light design
- * High degree of reliability and proven market record
- * Main vehicles equipped with this AT:
NISSAN TIIDA, NOTE, MARCH, WINGROAD,
BLUEBIRD SYLPHY
RENAULT SAMSUNG SM3
and other vehicles



4-speed AT for small and medium vehicles

- * Compact exterior appearance
- * High degree of reliability and proven market record
- * Main vehicles equipped with this AT:
MITSUBISHI GRANDIS, GALANT, LANCER, LANCER WAGON
and other vehicles



4-speed AT for medium vehicles

- * High Cost Performance
- * High degree of reliability and proven market record
- * Main vehicles equipped with this AT:
MITSUBISHI LANCER CARGO
and other vehicles



4-speed AT for medium and large vehicles

- * High torque capacity
- * Compact exterior appearance
- * High degree of reliability and proven market record
- * Main vehicles equipped with this AT:
NISSAN QUEST, X-TRAIL, MURANO(2.5L)
RENAULT SAMSUNG SM5
and other vehicles





5-speed AT for medium and large vehicles

- * Compact exterior appearance
- * High torque capacity
- * Main vehicles equipped with this AT:
VW GOLF, SHARAN
LAND ROVER FREELANDER
JAGUAR X-TYPE
FORD EUROPE MONDEO
and other vehicles

5-speed AT for medium and large vehicles

- * Compact exterior appearance
- * High torque capacity
- * Main vehicles equipped with this AT:
MITSUBISHI GALANT, ECLIPSE SPYDER, LANCER EVOLUTION WAGON
and other vehicles



JF613E



6-speed AT for medium and large vehicles

- * Wider gear ratio range for both acceleration performance and fuel consumption
- * Light-weight compact design
- * High efficiency and fuel economy at the top of its class
- * Main vehicles equipped with this AT:
RENAULT SCENIC, GRAND SCENIC
NISSAN QASHQAI (TBD)
MITSUBISHI OUTLANDER (3.0L)

* based on Lepelletier system