

УДК 621.85; 629.113

DOI: 10.12737/24903

В.В. Кучкаров, Д.В. Демидов

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ КОРОБОК ПЕРЕМЕННОСТИ ПЕРЕДАЧ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Приведен исторический обзор развития конструкции коробок передач легковых автомобилей. Исследованы причины изменения конструкции коробок перемены передач для определения области их применения в конструкции легковых автомобилей. Историческое исследование причин изменения конструкции коробок перемены передач легковых

автомобилей проведено на основе системного подхода (технические, экономические и социальные аспекты).

Ключевые слова: трансмиссия, коробка передач, механическая КПП, автоматическая КПП, бесступенчатая трансмиссия, вариатор, роботизированная КПП.

V.V. Kuchkarov, D.V. Demidov

HISTORICAL REVIEW OF DESIGN DEVELOPMENT OF MOTOR CAR GEARBOXES

The paper reports the review in the development of motor car gearbox design. The main task consists in the detection of the reasons for changes in gearbox design for the definition of the field for gearbox substantiated application in motor car design.

In the main part the advantages and shortcomings of manual, automated, infinitely variable and automatic gearboxes are under consideration. There are shown and analyzed functional diagrams of gearbox designs considered.

Введение

Автомобильная промышленность – ведущая отрасль машиностроения, и она оказывает огромное влияние на технические, экономические и социальные аспекты развития общества. Масштабы автомобилестроения с каждым годом расширяются, поэтому появляются новые модели автомобилей. Однако производители автомобилей предлагают модели с различными конструкциями коробок перемены передач, позволяя потенциальному покупателю самому определиться с выбором. Данное исследование позволяет определить область применения различных коробок перемены передач в легковых автомобилях.

Трансмиссия автомобиля – совокупность узлов и механизмов, осуществляющих связь двигателя с движителем. Зачас-

In the conclusion it is pointed out that the most promising design of a gearbox is a robot gearbox with two clutches allowing the assurance of the absence of power flow break; the smoothness of gear shifts and smoothness of motion; comfort of control; high fuel efficiency; high traction-dynamic characteristics.

Key words: transmission, gearbox, manual gearbox, infinitely variable gearbox, variator (variable-speed gear), robotized transmission.

тую тип трансмиссии определяется коробкой перемены передач (далее КПП). Коробка передач необходима для поддержания оптимального тягового усилия на ведущих колёсах путём изменения крутящего момента в широком диапазоне скоростей посредством изменения передаточного отношения. Существует несколько классификаций КПП: по числу ступеней, валов, степеней свободы, потоков, по которым передаётся мощность; по расположению входного и выходного валов и т.д.

В настоящее время выделяют четыре основных типа трансмиссий, использующихся на серийных легковых автомобилях: механическую, автоматическую, бесступенчатую и роботизированную.

Механическая трансмиссия с механической коробкой перемены передач (далее МКПП) – первый тип трансмиссии, появившийся на автомобиле. На паровой

повозке Кюньо в 1769 г. была применена первая механическая трансмиссия. На автомобилях же сначала использовались ремённые передачи (по аналогии со станками

того времени), которые затем заменили зубчатыми передачами.

Если рассматривать коробки перемены передач, то принято считать, что первый прототип МКПП был применен в 1894 г. во Франции Луи-Рене Панаром и Эмилем Левассором на автомобиле «Панар-Левассор». Указанный прототип КПП был максимально приближен к современным МКПП, поскольку изменение передаточного числа обеспечивалось за счёт нескольких пар шестерен различных диаметров.

В легковых автомобилях применяются МКПП двух видов: двухвальные и трёхвальные.

Трёхвальные МКПП появились впервые на автомобиле Луи Рено, который в 1899 г. запатентовал свою конструкцию как «*Mécanisme de transmission et de changement de vitesse pour voitures automobiles*» - механизм передачи и изменения скорости для самоходных экипажей (рис. 1, сверху).

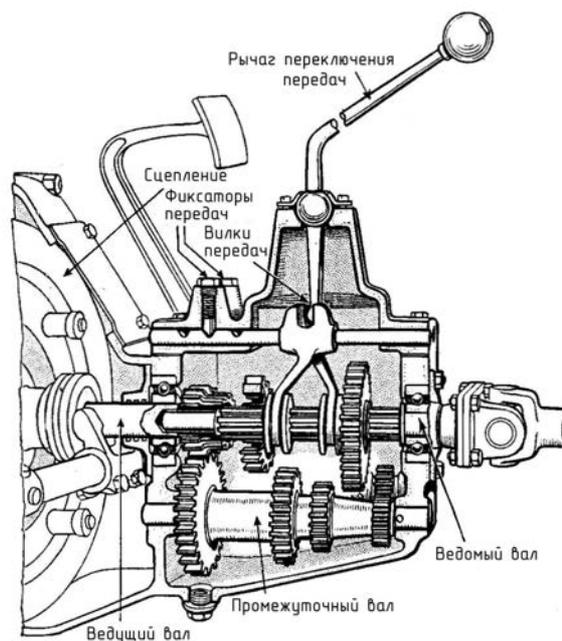
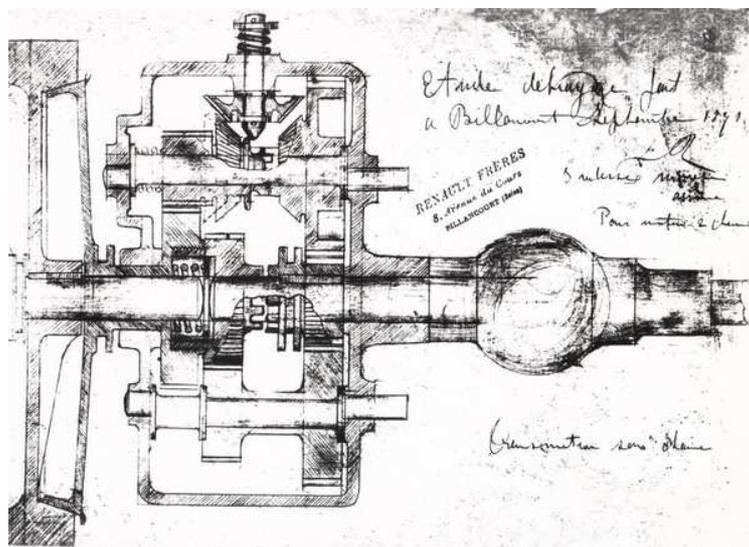


Рис. 1. Примеры конструкции механической коробки перемены передач: сверху - схема коробки перемены передач Луи Рено [1]; внизу – применение синхронизаторов в коробке перемены передач [2]

Трёхвальные МКПП используются на заднеприводных автомобилях с продольным расположением двигателя. Каждое передаточное отношение обеспечивается двумя парами шестерён, за исключением прямой передачи. Применение прямой передачи позволило обеспечить наибольшее значение коэффициента полезного действия для передач коробки.

Двухвальные МКПП получили широкое распространение в 1970-х гг., хотя первые прототипы появились еще в 1910-х гг. Такие КПП используются в переднеприводных автомобилях с передним поперечным расположением двигателя и заднеприводных с задним расположением двигателя. Поперечное расположение коробки передач позволило применять главную передачу с цилиндрическими шестернями (а не с гипоидными или коническими при продольном расположении двигателя), а также размещать главную передачу и коробку передач в одном корпусе. Среди преимуществ двухвальной КПП над трёхвальной стоит отметить больший КПД на всех передачах, кроме высшей, так как в зацеплении участвует одна пара шестерён, а не две.

Вплоть до 1920-х гг. на автомобилях применялись коробки передач без синхронизаторов, что требовало от водителей определённых навыков управления педалью акселератора для выравнивания скоростей валов, иначе зубья шестерен не попадали в зацепление. Другой проблемой был скрежет шестерен. С появлением синхронизатора, или фрикционной муфты, обеспечивающей выравнивание скоростей вращения шестерен, процесс переключения передач облегчился (рис. 1, внизу). Современные МКПП имеют синхронизаторы на всех передачах переднего хода.

Основные достоинства МКПП: простота конструкции; невысокая стоимость; малая масса, особенно двухвальных МКПП; высокий коэффициент полезного действия; высокая надёжность; возможность буксировки автомобиля.

МКПП имеет следующие недостатки: необходимость правильного выбора оптимальной передачи для поддержания тягового усилия на нужном уровне; разрыв

мощности в момент переключения передач; утомляемость водителя при переключении передач.

Из-за недостатков, присущих МКПП, возникла необходимость появления таких коробок передач, которые были бы лишены этих недостатков (отвлечение водителя на переключение передач, разрыв мощности и пр.). Создание гидромукт привело к появлению автоматических коробок передач с гидротрансформатором.

Автоматическая коробка передач (далее АКПП) – гидромеханическая передача, или коробка передач с гидротрансформатором, изобретенным немецким профессором Фетингером в 1905 г.

Гидромеханическая передача состоит из следующих узлов: гидротрансформатор (аналог сцепления в автомобиле с МКПП); механическая коробка передач – набор фрикционных муфт (фрикционов) и шестерён с планетарным рядом; система управления (рис. 2).

При движении в населенных пунктах имеет место увеличение потребности в переключении передач, вызывая утомляемость водителя, поэтому АКПП стали оснащать городские автобусы. Впервые на легковых автомобилях такая коробка передач появилась на автомобилях марки «Кадиллак» в 1930-х гг. В Европе массовое распространение автоматических КПП началось лишь в 1970-х гг.

Гидротрансформатор состоит из торoidalной камеры, включающей три колеса с лопастями: насосное, жёстко соединённое с коленвалом двигателя; турбинное, соединённое с коробкой передач, и реактор. Крутящий момент передаётся жидкостью, которой наполнен гидротрансформатор. Такая конструкция (наличие реактора) позволяет увеличивать крутящий момент, передаваемый от двигателя к трансмиссии, за счёт изменения направления потока жидкости. Также наличие гидротрансформатора в АКПП позволяет уменьшить колебания и увеличить плавность хода автомобиля.

Гидромеханическая передача имеет следующие преимущества: автоматизация переключения передач; отсутствие разрыва мощности.

Среди недостатков стоит отметить следующие: потеря мощности и повышенные расходы топлива автомобиля; слож-

ность конструкции; высокая стоимость агрегата.

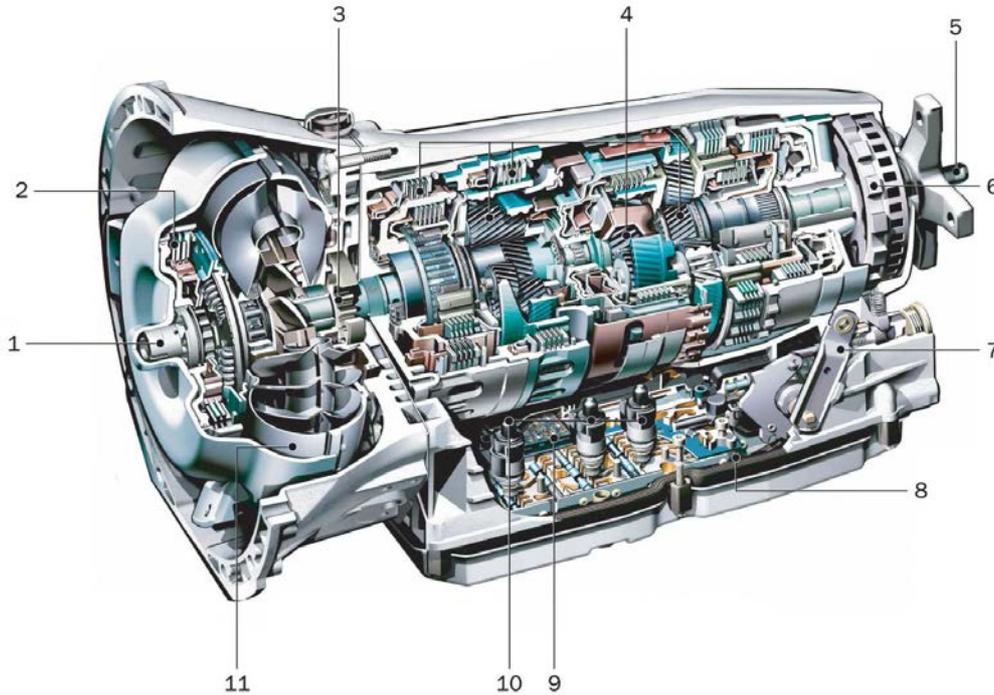


Рис. 2. Устройство автоматической коробки передач «7G-Tronic» [3; 4]:

- 1 - ведущий вал; 2 - фрикцион блокировки гидротрансформатора с гасителем крутильных колебаний; 3 - масляный насос с контролем давления; 4 - фрикционы и планетарные передачи; 5 - выходной вал; 6 - стояночный тормоз; 7 - селектор; 8 - электронный блок управления; клапаны и датчики, встроенные в поддон; 9 - электронный блок переключения передач; 10 - высокоскоростные соленоиды; 11 - гидротрансформатор

Из-за сложности конструкции и повышенного расхода топлива, а также как аналог АКПП на автомобилях появился новый тип коробки передач – **вариатор (бесступенчатая трансмиссия)**, обозначаемый как *CVT – continuous variable transmission* (постоянно изменяемая трансмиссия).

Стоит отметить, что в вариаторе как таковых передач вообще нет, так как вариаторы позволяют получить любое передаточное число в определенном диапазоне. История применения вариаторов в легковых автомобилях насчитывает более 100 лет с момента получения патента на первый вариатор в 1897 г., хотя впервые на серийном автомобиле вариатор был вне-

дрён в 1950 г. на автомобиле «DAF». Далее вариаторами стали оснащаться, как правило, малолитражные модели легковых автомобилей.

В трансмиссии, оснащённой вариатором, изменение передаточного числа обеспечивается не зубчатыми шестернями, а двумя коническими шкивами и ремнём между ними (рис. 3 а, б).

Когда расстояние между двумя половинками шкивов изменяется, изменяется и рабочий диаметр шкива – так изменяется передаточное отношение. Сначала в конструкции вариатора использовался резиновый ремень, затем для повышения надежности стали использовать стальную цепь (рис. 3 в).

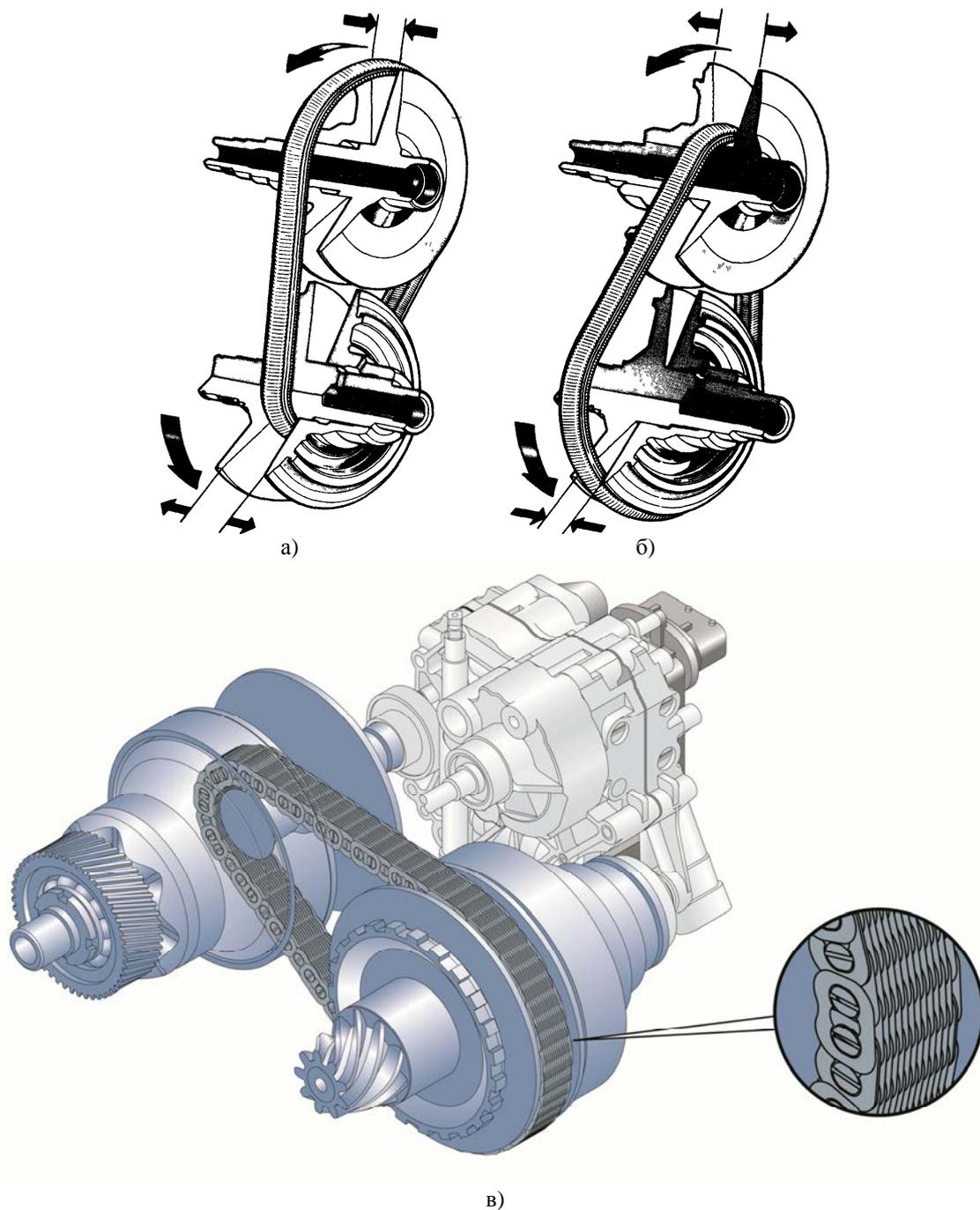


Рис. 3. Примеры применения вариатора в коробках перемены передач:
 а, б - принцип работы клиноременного вариатора «Transmatic» [5] (верхний вал – первичный, нижний – вторичный; положение на рисунке слева показывает обеспечение максимального передаточного отношения, положение на рисунке справа – обеспечение минимального передаточного отношения); в – применение цепи в вариаторе «Audi Multitronic» [6]

Трансмиссии с вариаторами не имеют нейтральной передачи, поэтому возникает необходимость в размыкании двигателя автомобиля с коробкой передач. В связи с этим в трансмиссиях с вариаторами используются различные виды сцепления.

Достоинства автомобилей, оснащённых вариаторами: высокая топливная эко-

номичность по сравнению с гидромеханической трансмиссией; плавность работы.

Недостатки: психологический фактор (вариатор поддерживает двигатель на оборотах, обеспечивающих максимальный крутящий момент; недостаток был присущ автомобилям, выпущенным до 2000 г.);

высокая стоимость узла, ремонта в случае неисправности.

Для обеспечения соответствия экологическим нормам и уменьшения среднего расхода топлива возникли новые требования: необходима такая коробка передач, которая обеспечит тот же расход топлива, что и в автомобиле с механической коробкой передач, но при этом управление выбором передач будет автоматическим.

Так появились **автоматизированные механические трансмиссии** (далее - АМТ). Это механические КПП, оборудованные сцеплением, но управление в таких трансмиссиях осуществляется электроникой с помощью сервоприводов (актуаторов). Поэтому АМТ состоит из сцепления, коробки передач, актуаторов сцепления, актуаторов передач и блока управления. Данное направление развития трансмиссии стало возможным лишь с развитием электроники.

Автоматизированная механическая трансмиссия позволяет достичь той же топливной экономичности, что присуща автомобилям, оснащённым механической коробкой передач, но при этом исключается усталость водителя, связанная с необходимостью переключения передач. Роботизированные коробки передач в настоящее время бывают двух видов: с одним сцеплением (роботизированная КПП) и с двумя сцеплениями (преселективная).

Роботизированная коробка передач (далее РКПП) представляет собой совокупность механической коробки передач и классической гидромеханической передачи. Хотя с гидромеханической передачей ее роднит лишь количество педалей, в остальном же РКПП – это МКПП, в которой переключение передач и разъединение двигателя и коробки осуществляется электроникой.

Кинематика роботизированной коробки почти полностью повторяет кинематику механической коробки, на базе которой она была спроектирована. Автоматизированное управление выбором передач позволяет уменьшить человеческий фактор в управлении автомобилем при сохранении тягово-динамических характеристик.

Среди достоинств роботизированных коробок можно отметить низкую стоимость узла по сравнению с АКПП или вариатором (стоимость РКПП на 10-20% выше стоимости аналогичной МКПП). Но, несмотря на достоинства, автомобили, оснащённые *роботизированными коробками с одним сцеплением*, имеют один недостаток – длительное время переключения (примерно 1,5 с), что отрицательно сказывается на времени разгона.

Поэтому при интенсивном разгоне водитель и пассажиры ощущают длительный разрыв мощности, что вызывает дискомфорт. Для устранения этого недостатка и сокращения времени переключения была предложена конструкция роботизированных коробок передач, исключая разрыв потока мощности. Такая конструкция получила название *автоматизированной коробки передач с двойным сцеплением*.

Автоматизированные коробки передач с двойным сцеплением иначе называют преселективными коробками передач. Данные коробки на серийных автомобилях появились в 2003 г. («*Audi TT 3.2 Quattro*» и «*Volkswagen Golf V*») [5], хотя еще в 1930-х годах Адольф Кегресс предлагал поставить преселективную коробку на переднеприводный «*Citroen Traction Avant*». Характеризируются данные коробки передач тем, что переключение передач при разгоне происходит без разрыва потока мощности.

Отметим конструктивные особенности автомобилей, оснащённых преселективной коробкой переменных передач: маховик особой формы; два сцепления с разными диаметрами; два первичных вала (один - полый, другой – сплошной) (рис. 4). Сплошной вал обеспечивает передачу крутящего момента на шестерни нечётных передач, а полый – на шестерни чётных передач.

Когда используется 1-я передача, крутящий момент передаётся с помощью 1-го сцепления на первый первичный вал, но в этот момент уже включена 2-я передача на втором первичном валу.

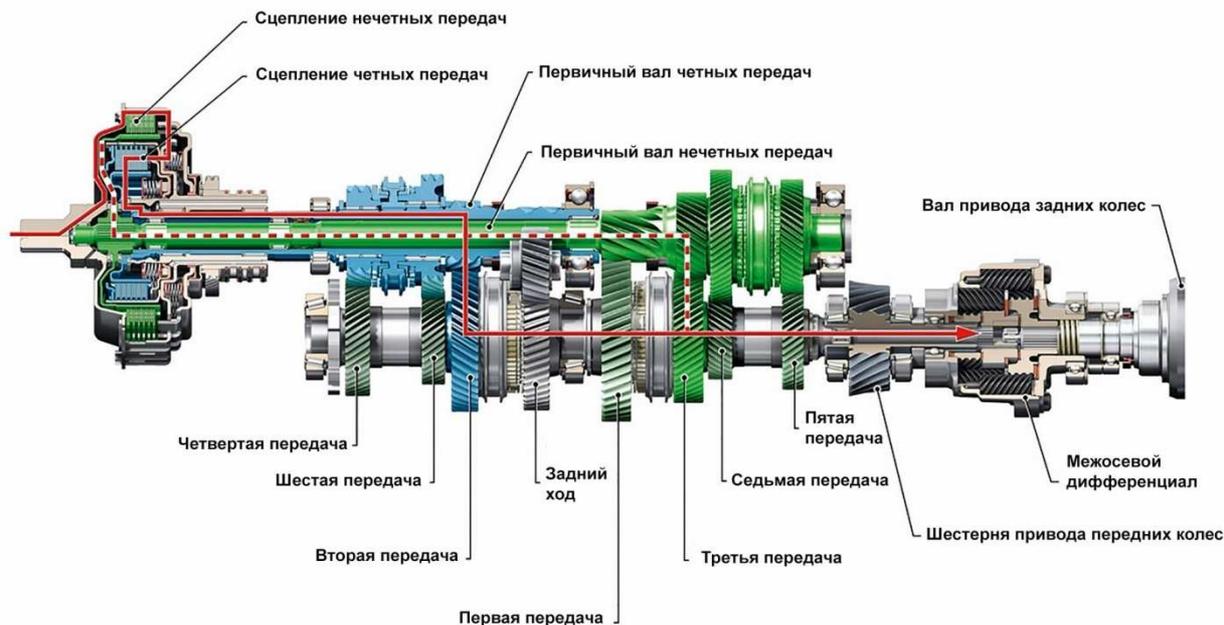


Рис. 4. Конструкция преселективной коробки перемены передач «Audi S-tronic DL501» [6]

В момент переключения передач происходит следующее: первое сцепление размыкается и одновременно с этим смыкается второе сцепление. Таким образом, переключение фактически не ощущается и составляет 0,08 – 0,1 с.

В настоящее время такая конструкция коробки передач по праву считается наиболее перспективной и объединяет все достоинства вышеуказанных коробок передач: отсутствие разрыва потока мощно-

сти; плавность переключений и плавность хода; комфорт управления; высокая топливная экономичность; высокие тягово-динамические характеристики. Алгоритм программирования РКПП подстраивается под манеру вождения водителя, что является немаловажным преимуществом роботизированной коробки.

Среди недостатков стоит отметить возросшую стоимость по сравнению с РКПП с одним сцеплением или МКПП.

Заключение

Исследование причин изменения конструкции коробок перемены передач позволяет определить область применения коробок перемены передач различной конструкции в легковых автомобилях. При этом полученная область применения различных коробок перемены передач позволяет обоснованно применять их в конструкции легковых автомобилей, влияя на особенности спроса автомобилей на рынке их продаж.

Представленное многообразие конструкций коробок передач обуславливает необходимость рационального применения каждого их вида к конкретному автомобилю. В 21-м веке большое распространение

получают различные виды коробок передач, для управления которыми не требуется участие человека. Однако не стоит забывать, что, несмотря на все преимущества автоматических трансмиссий, механическая трансмиссия продолжает использоваться вот уже более 200 лет.

В настоящее время, как показывает сравнительный анализ различных видов коробок передач, самой перспективной является коробка передач с двумя сцеплениями, так как она объединяет преимущества всех коробок передач. Более того, если сравнить преселективную коробку передач с первыми механическими коробками передач, то можно сделать вывод, что

коробка передач с двумя сцеплениями – это две механические коробки передач, объединённые в один корпус и выполнен-

ные с применением современных технологий (электронного автоматизированного управления).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Petite histoire d'une première vie de Renault: 1898–1944. - URL: [http://c.papy.free.fr/original/Renault%201898%20-%201944%20\(Claude\).pdf/](http://c.papy.free.fr/original/Renault%201898%20-%201944%20(Claude).pdf/) (дата обращения: 20.06.2016).
2. The Autocar Handbook. - 13th ed. – London: Iliffe & Sons Limited, Dorset House, Stamford Street, 1935. – 228 p.
3. 7G-Tronic (722.9) in the Workshop. Tips and Tricks. – Stuttgart: DaimlerChrysler AG, 2009. – 40 p.
4. URL: http://wiki.zr.ru/images/9/98/Трансмиссия_41.jpg/ (дата обращения: 20.06.2016).

5. Дэниэлс, Д. Современные автомобильные технологии/ Д. Дэниэлс. – М.: АСТ: Астрель, 2003. – 223 с.
6. Бесступенчатая автоматическая коробка передач Multitronic 01J. Устройство и принцип действия // Программа самообучения Audi №228. – М.: Фольксваген Груп Рус, 2001. – 99 с.
7. Шестиступенчатая коробка передач со сдвоенным сцеплением 02E (S-tronic) // Программа самообучения Audi №386. - М.: Фольксваген Груп Рус, 2010. – 87 с.
8. Агрегаты Audi Q5// Программа самообучения Audi №429. - М.: Фольксваген Груп Рус, 2007. – 47 с.

1. Petite histoire d'une première vie de Renault: 1898–1944. - URL: [http://c.papy.free.fr/original/Renault%201898%20-%201944%20\(Claude\).pdf/](http://c.papy.free.fr/original/Renault%201898%20-%201944%20(Claude).pdf/) (access date: 20.06.2016).
2. The Autocar Handbook. - 13th ed. – London: Iliffe & Sons Limited, Dorset House, Stamford Street, 1935. – 228 p.
3. 7G-Tronic (722.9) in the Workshop. Tips and Tricks. – Stuttgart: DaimlerChrysler AG, 2009. – 40 p.
4. URL: http://wiki.zr.ru/images/9/98/Трансмиссия_41.jpg/ (дата обращения: 20.06.2016).

5. Daniels, D. *Modern Automobile Techniques*/ D. Daniels. – М.: АСТ: Astrel, 2003. – pp. 223.
6. Infinitely variable gearbox Multitronic 01J. Structure and Operation Principle // *Program for Self-study Audi №228*. – М.: Volkswagen Group Rus., 2001. – pp. 99.
7. Six-speed gearbox with double-clutch 02E (S-tronic) // *Program for Self-study Audi №386*. - М.: Volkswagen Group Rus., 2010. – pp. 87.
8. Units Audi Q5// *Program for Self-study Audi №429*. - М.: Volkswagen Group Rus., 2007. – pp. 47.

Статья поступила в редколлегию 1.08.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор Уральского государственного аграрного университета Охотников Б.Л.

Сведения об авторах:

Кучкаров Владимир Владимирович, магистрант Уральского государственного лесотехнического университета, тел.: 9826369175, e-mail: nrg17194@gmail.com.

Демидов Дмитрий Валентинович, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета, тел.: 89222090457, e-mail: demidov1974@yandex.ru.

Kuchkarov Vladimir Vladimirovich, Master degree competitor of Urals State Forestry Engineering University, Phone: 9826369175, e-mail: nrg17194@gmail.com.

Demidov Dmitry Valentinovich, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Road Transport", Urals State Forestry Engineering University, Phone: 89222090457, e-mail: demidov1974@yandex.ru.