

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПЛАНЕТАРНЫХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ

К.Т.Н. Саламандра К.Б.

ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

ksalamandra@yandex.ru

Увеличение числа передач в автомобильных трансмиссиях является наиболее результативным способом снижения расхода топлива и повышения эффективности автомобильной техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания. Чем больше передач в коробке передач, тем сложнее используемые механизмы и больше их количество. Статья посвящена используемым в настоящее время методам синтеза и конструирования автомобильных многоскоростных коробок передач, состоящих из планетарных механизмов. Ограничения по типу используемых планетарных механизмов и числу степеней свободы синтезируемых коробок привели к низкой эффективности использования математических и графоаналитических методов синтеза, разработанных в СССР. В настоящее время аналитический метод синтеза заключается в переборе возможных вариантов соединений звеньев планетарных механизмов и управляющих элементов. Этот метод предусматривает возможность использования только однорядных трехзвенных планетарных механизмов, которые поддаются корректному математическому описанию. Вторым основным способом конструирования планетарных коробок передач является модульный принцип синтеза, заключающийся в присоединении и комбинировании одних известных и отработанных конструкций с другими. В этом случае основными модулями являются однорядные планетарные механизмы с однозвеновым или парным сателлитами и планетарные редукторы, разработанные Симпсоном и Равинье. Большинство коробок передач, разработанных немецкими компаниями, получены с использованием именно этого подхода. В статье приводятся кинематические схемы коробок передач, использующихся в настоящее время в трансмиссиях современных автомобилей, которые получены в результате использования описываемых методов синтеза.

Ключевые слова: синтез механизмов, конструирование, планетарная передача, коробка передач, автоматическая коробка передач, трансмиссия, снижение расхода топлива, повышение эффективности

Введение

В настоящее время перед инженерами ставятся задачи повышения эффективности и топливной экономичности автомобильной техники, что связано с ужесточением требований к загрязнению окружающей среды, ростом стоимости топлива и потребительскими ожиданиями по снижению его расхода.

Большинство современных автомобилей оснащены двигателями внутреннего сгорания, существенными недостатками которых являются низкий КПД (для бензиновых двигателей не превышает 35%; для дизельных – 55%) и малый диапазон изменения момента и скорости вращения коленчатого вала. Применение систем наддува позволяет поддерживать постоянную мощность двигателя в широком диапазоне частоты вращения коленчатого вала. Т.е. за счет источника мощности сокращается

потребный диапазон регулирования скорости движения автомобиля. Но следует ли дорогой тепловой двигатель, работающий с огромными потерями энергии, использовать, как регулятор скорости? В современных условиях такой подход является паллиативным решением, нерационален и экономически неэффективен.

Для расширения диапазона регулирования скорости и момента в трансмиссиях применяется коробка передач. А основным способом повышения эффективности автомобильной техники является обеспечение преимущественной работы двигателя в диапазоне скоростей, соответствующем минимальному расходу топлива. Сохранение широкого диапазона скоростей автомобиля и ограничение рабочих скоростей двигателя приводит к увеличению числа передач в коробках передач. Чем больше передач реализуется в коробке пере-

дач, тем лучше характеристики управления и топливной экономичности. Большое количество передач позволяет уменьшить шаг между передаточными отношениями, улучшить качество переключений, сделать их неощутимыми при ускорении транспортного средства и уменьшить шум от двигателя в салоне автомобиля. Поэтому за последние десять лет число передач в автоматических коробках передач увеличилось более чем в два раза (с 4 до 8–10). По данным компании *Daimler* применение 7-ми ступенчатой коробки передач позволяет снизить расход топлива на 7% по сравнению с 5-ти ступенчатой [1]. А по данным немецкого производителя компонентов подвесок, трансмиссий и коробок передач *ZF Friedrichshafen*, применение 9-ти ступенчатой коробки передач позволяет уменьшить расход топлива транспортного средства на 16% по сравнению с 6-ти ступенчатой [2].

Очевидно, что увеличение количества передач приводит к увеличению числа механизмов, их усложнению, что сказывается на габаритных размерах, массе и стоимости конструкции. В трансмиссиях автомобилей применяют зубчатые коробки передач двух типов: с неподвижными осями колес и планетарные. Коробкам передач, состоящим из планетарных механизмов, посвящена настоящая статья.

Планетарные коробки передач применяют с начала XX века [3]. Их основными преимуществами являются: высокая нагрузочная способность, износостойкость, простая система управления, малый вес и габаритные размеры [3]. Конструктивно планетарные коробки передач состоят из набора планетарных механизмов (рядов) и управляющих элементов (тормозов и муфт), соединяющих звенья планетарных механизмов с неподвижным корпусом коробки или друг с другом. Далее по тексту статьи управляющие элементы называются муфтами. Количество ступеней в планетарной коробке передач зависит от количества и типа используемых планетарных механизмов.

Цель исследования

Целью исследования является анализ современных методов синтеза автоматических планетарных коробок передач.

Аналитические методы синтеза

Математические и графоаналитические методы синтеза планетарных коробок пере-

дач разрабатывались в СССР до конца 80-х гг. XX века, наиболее известные работы А.Д. Вашца, П.Н. Иванченко, А.Ф. Крайнева, В.И. Красенькова, М.А. Крейнса, М.К. Кристи, В.Н. Кудрявцева, Л.Н. Решетова и др. Разработанные методы вошли в состав расширенного курса по теории механизмов и машин для автомобилестроительных специальностей [4].

Основными недостатками этих методов являются использование только однорядных планетарных механизмов и не более 3-х степеней свободы в синтезируемой коробке передач, т.е. на каждой передаче включены две муфты управления. При синтезе коробок с числом передач большим восьми указанные ограничения приводят к увеличению числа планетарных механизмов и управляющих муфт.

Из последних результатов синтеза коробок передач с использованием графоаналитического метода можно отметить схемы, полученные группой авторов: Нагайцев М.В., Харитонов С.А., Лысков А.Н. и др. В этих схемах используются комбинации двух однорядных планетарных механизмов и одного планетарного механизма с парным сателлитом (два сателлита, находящиеся в зацеплении друг с другом и размещенные на одном водиле), что позволяет получить от шести до десяти передач, используя при этом от пяти до восьми управляющих муфт. Например, кинематическая схема 6-ти ступенчатой коробки передач [5] с тремя степенями свободы, в которой использована указанная комбинация планетарных механизмов, показана на рис. 1.

Большинство современных коробок передач, состоящих из однорядных трехзвенных планетарных механизмов, получены методами комбинаторики. Одним из примеров является алгоритм, использующийся в американской корпорации *General Motors* [6]. Метод предполагает задание числа используемых однорядных планетарных механизмов, числа муфт и необходимого количества ступеней. Составленная компьютерная программа после расчета возможных комбинаций соединений звеньев планетарных рядов друг с другом отбирает варианты схем, удовлетворяющих заданному ряду критериев. С помощью данного метода были получены схемы 7-ми ступенчатых коробок передач с тремя степенями свободы [7], состоящие из трех однорядных планетарных механизмов и 6 – 7 элементов управления. В [8]

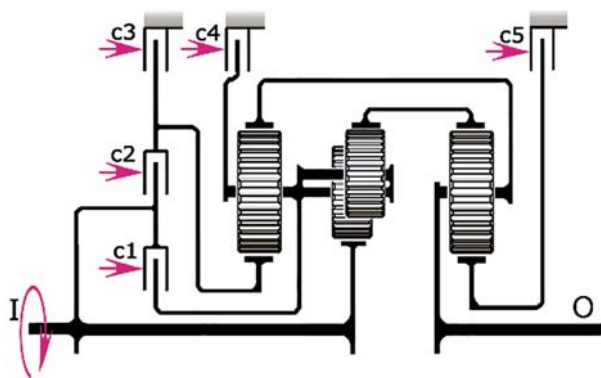


Рис. 1. Кинематическая схема 6-ти ступенчатой планетарной коробки передач фирмы ООО «КАТЕ»:

I, O – входной и выходной валы соответственно; c1, c2, c3, c4, c5 – управляющие муфты

представлены схемы с пятью степенями свободы и для получения 8 – 11 ступеней переднего хода и до трех ступеней заднего использованы различные комбинации из семи управляющих элементов при трех однорядных планетарных механизмах.

На рис. 2 представлена схема 6-ти ступенчатой планетарной коробки передач с тремя степенями свободы, применяемая в трансмиссиях автомобилей концерна *General Motors* [9], состоящая из трех однорядных планетарных механизмов и шести элементов управления.

Метод перебора возможных соединений звеньев планетарных механизмов и управляющих муфт был использован японской компанией *Honda Motor* [10] для получения 10-ти ступенчатой коробки передач [11] (рис. 3). Эта коробка передач имеет 4 степени свободы, предназначена для переднеприводных автомобилей и будет устанавливаться на автомобили марки, выпускаемые с 2017 г. Коробка передач (рис. 3) состоит из четырех однорядных трехзвенных планетарных механизмов и 7 управляющих муфт.

Для получения этой схемы было просчитано более 1 триллиона комбинаций соединений звеньев планетарных механизмов и управляющих муфт. Производитель заявляет, что 10-ти ступенчатая коробка передач по сравнению с 6-ти ступенчатой позволяет экономить более 6% топлива, а также за счет более широкого диапазона реализуемых передаточных отношений снизить обороты двигателя на крейсерских скоростях на 22%.

Метод перебора вариантов соединений звеньев и управляющих муфт громоздок, сложен

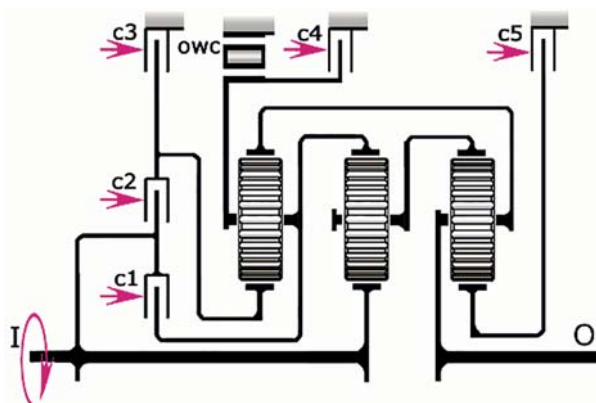


Рис. 2. Кинематическая схема 6-ти ступенчатой планетарной коробки передач фирмы *General Motors*:

I, O – входной и выходной валы соответственно; c1, c2, c3, c4, c5 – управляющие муфты; owc – муфта свободного хода

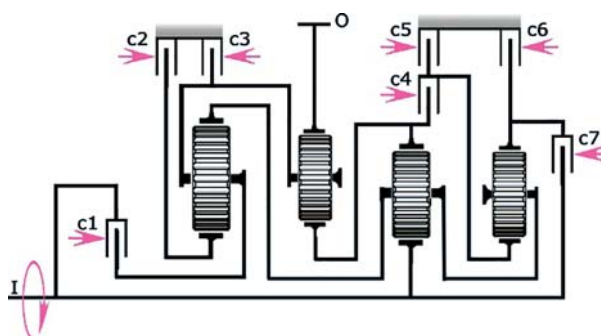


Рис. 3. Кинематическая схема 10-ти ступенчатой планетарной коробки передач фирмы *Honda Motor*:

I – входной вал; O – шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом выходного вала (не показан); c1, c2, c3, c4, c5, c6, c7 – управляющие муфты

и требует большого времени проведения вычислений. Отметим также, что корректному математическому описанию поддаются только однорядные трехзвенные планетарные механизмы, поэтому только из таких механизмов состоят коробки передач, полученные с использованием метода перебора.

Модульный принцип синтеза

В виду ограничений, накладываемых на габаритные размеры и массу конструкций коробок передач, а также проблем, связанных с существенным усложнением синтеза новых схем с увеличенным количеством ступеней, в со-

временном машиностроении наблюдается тенденция использования комбинаций различных удачных и хорошо зарекомендовавших себя конструктивных решений. Следует отметить два типа схем соединения планетарных механизмов: Симпсона и Равинье.

Американский инженер Говард Симпсон (*Howard Simpson*) предложил ряд конструкций планетарных коробок передач [12], отличающихся тем, что в них использовано последовательное соединение двух однорядных планетарных механизмов, у которых солнечные колеса неподвижно соединены друг с другом. Схема Симпсона позволяет получить до 4-х ступеней переднего хода, причем высшая ступень имеет передаточное отношение 1. Коробки передач по схеме Симпсона производились с 1964 г. более 20 лет, ими оснащались большинство автомобилей, производимых в США [13].

Необходимость улучшения тягово-скоростных показателей привела к созданию схем 5-ти скоростных коробок передач, в которых к схеме Симпсона был последовательно присоединен еще один однорядный планетарный механизм (рис. 4) [3]. Это позволило добавить еще одну передачу с передаточным отношением меньшим 1.

Французский инженер Поль Равинье (*Pol Ravigneaux*) в конструкциях своих многоскоростных редукторов [14] использовал планетарные механизмы, имеющие сложные сателлиты: парные, двух- и трехвенцовые. Схемой Равинье называют четырехзвенную планетарную передачу, в которой на водиле вращаются пары сателлитов, находящиеся в зацеплении друг с другом, с независимыми солнечными колесами и эпициклами. Такой механизм позволяет получить 4 ступени переднего хода.

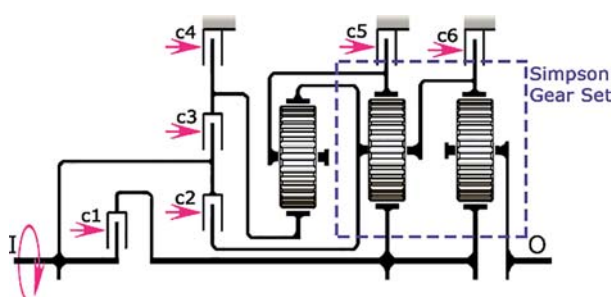


Рис. 4. Кинематическая схема 5-ти ступенчатой планетарной коробки передач с тремя степенями свободы фирмы *ZF Friedrichshafen*:

I, O – входной и выходной валы соответственно;
c1, c2, c3, c4, c5, c6 – управляющие муфты

Для получения 6-ти ступенчатой коробки передач при сохранении относительно небольших габаритных размеров конструкции французский инженер Пьер Лепеллетье (*Pierre Lepelletier*) в начале 90-х гг. XX в. использовал [15] комбинацию механизма, построенного по схеме Равинье, и однорядного планетарного механизма. На рис. 5 представлена схема 6-ти ступенчатой коробки передач [16] с тремя степенями свободы, в которой использована указанная комбинация механизмов.

По данным компании *ZF Friedrichshafen* 6-ти ступенчатая коробка передач (рис. 5) легче 5-ти ступенчатой коробки передач (рис. 4) на 11 кг и производится с использованием на 30% меньшего числа деталей и узлов. С 2001 по 2010 гг. в мире было произведено более 15 миллионов 6-ти ступенчатых коробок передач по схеме Лепеллетье [13].

Компания *DaimlerChrysler* для получения 7-ми ступенчатой коробки передач с числом

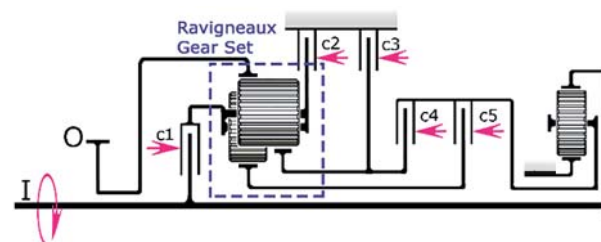


Рис. 5. Кинематическая схема 6-ти ступенчатой планетарной коробки передач фирмы *ZF Friedrichshafen*:

I – входной вал; O – шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом выходного вала (не показан); c1, c2, c3, c4, c5 – управляющие муфты

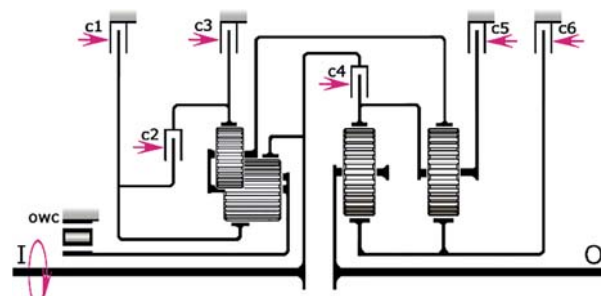


Рис. 6. Кинематическая схема 7-ми ступенчатой планетарной коробки передач фирмы *DaimlerChrysler*:

I, O – входной и выходной валы соответственно;
c1, c2, c3, c4, c5, c6 – управляющие муфты;
owc – муфта свободного хода

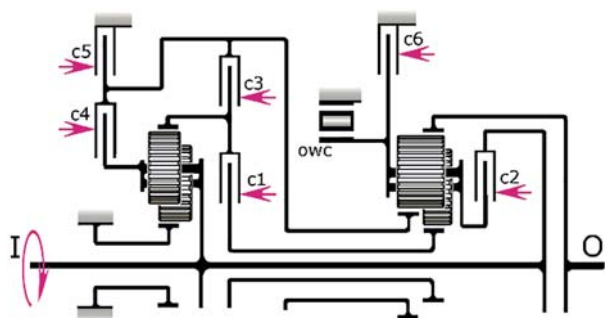


Рис. 7. Кинематическая схема 8-ми ступенчатой планетарной коробки передач фирмы *Toyota*:
I, O – входной и выходной валы соответственно;
c1, c2, c3, c4, c5, c6 – управляющие муфты;
owc – муфта свободного хода

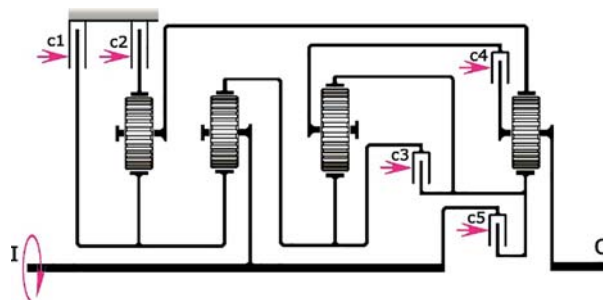


Рис. 8. Кинематическая схема 8-ми ступенчатой планетарной коробки передач фирмы *ZF Friedrichshafen*:
I, O – входной и выходной валы соответственно;
c1, c2, c3, c4, c5 – управляющие муфты

степеней свободы 4 (рис. 6) [17] использовала схему Симпсона вместе со схемой Равинье.

Компания *Toyota* разработала 8-ми ступенчатую коробку передач с тремя степенями свободы (рис. 7) [18], состоящую из комбинации схемы Равинье и планетарного механизма с парным сателлитом.

Немецкая фирма *ZF Friedrichshafen*, добавив к схеме Симпсона два однорядных планетарных механизма и используя всего пять управляющих муфт, создала 8-ми ступенчатую коробку передач (рис. 8) [19].

Коробка передач (рис. 8) имеет четыре степени свободы, т.е. на каждой передаче работают три муфты, что позволяет уменьшить потери в оставшихся двух незадействованных управляющих элементах. Следует отметить, что такая комбинация планетарных механизмов была впервые предложена в 60-е гг. XX в. фирмой *Allison Transmission* [20] с шестью муфтами управления (на каждой ступени включаются две), которая позволяет получить 6 передач переднего хода и 2 передачи заднего.

9-ти ступенчатая планетарная коробка передач фирмы *ZF Friedrichshafen* [21], кинематическая схема которой показана на рис. 9, тоже имеет четыре степени свободы и состоит из комбинации схемы Симпсона и двух однорядных планетарных механизмов, в которых сателлиты размещены на общем водиле. При этом один планетарный механизм размещен над другим, это компоновочное решение связано с необходимостью уменьшения продольного размера, т.к. коробка передач предназначена для трансмиссий переднеприводных автомобилей.

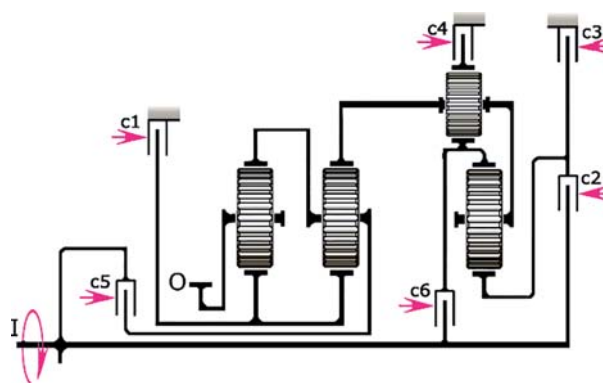


Рис. 9. Кинематическая схема 9-ти ступенчатой планетарной коробки передач фирмы *ZF Friedrichshafen*:
I – входной вал; O – шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом выходного вала (не показан); c1, c2, c3, c4, c5, c6 – управляющие муфты

Таким образом, модульный принцип синтеза коробок передач заключается в присоединения и комбинирования одних известных и отработанных конструкций с другими. Данный подход, скорее всего, обусловлен отработанной технологией производства используемых механизмов, что позволяет перейти к внедрению новых коробок передач достаточно быстро и с меньшими затратами.

Выводы

Почти все представленные выше кинематические схемы планетарных коробок передач применялись или используются в современных автомобильных трансмиссиях. Именно этот факт позволяет сделать вывод, что в настоящее

время только два метода синтеза являются основными при конструировании современных планетарных коробок передач:

- метод перебора возможных комбинаций соединения планетарных механизмов и управляющих муфт;
- метод присоединения и комбинирования различных известных и отработанных конструкций с другими.

Первый метод – аналитический предполагает использование только однорядных планетарных механизмов и может быть формализован для расчета на компьютере. Основными недостатками являются ограниченность по типу используемых механизмов и длительному времени поиска оптимального варианта кинематической схемы коробки передач.

Второй метод не поддается формализации, основан на опыте и мастерстве конструктора. Модульный принцип синтеза во многом связан с экономической эффективностью при модернизации производства для выпуска новых коробок передач и ограничен имеющейся номенклатурой производимых механизмов.

Литература

- Dorfschmid J., Dopfer W., Jaggle G., Heukelbach K. Evolution to the seven-speed automatic transmission 7G-Tronic Plus // ATZ 1212010. Vol. 112, pp. 20–25.
- Heading for a whole new dimension. 9HP 9-speed automatic transmission for passenger cars // Brochure by ZF Friedrichshafen AG. URL: www.zf.com
- Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. 335 с.
- Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
- Нагайцев М.В., Харитонов С.А., Лысков А.В. Гидромеханическая коробка передач: патент на изобретение № RU2309309. Опубликовано 27.10.2007. Бюл. № 30.
- Raghavan M., Bucknor N., Maguire J., Hendrickson J., Singh T. The Algebraic Design of Transmissions & EVT's // Paper # 2007-01-1458. SAE International.
- Raghavan M., Kao Chi-Kuan, Usoro P.B. Family of Multi-Speed Planetary Transmission Having Fixed Interconnections And Six Torque-Transmitting Mechanisms: патент на изобретение № US6679802. Опубликовано 20.01.2004.
- Raghavan M., Bucknor N.K., Usoro P.B. Planetary Transmission Having A Stationary Member And Input Clutches: патент на изобретение № US7101302. Опубликовано 05.09.2006.
- Lewis C., Bollwahn B. General Motors Hydra-Matic & Ford New FWD Six-Speed Automatic Transmission Family. Paper # 2007-01-1095. SAE International.
- Schweinsberg C. Honda Details Front-Engine, Front-Wheel-Drive 10AT on Odyssey // WardsAuto. 04.04.2017. URL: <http://wardsauto.com/technology/honda-details-front-engine-front-wheel-drive-10at-odyssey>.
- Shibamura M., Sugino S., Iizuka K. Automatic transmission: патент на изобретение № US8992374. Опубликовано 31.03.2015.
- Simpson H.W. Planetary Transmission for Self-Propelled Vehicle: патент на изобретение № US2856794. Опубликовано 21.10.1958.
- Pierre Lepelletier Receives SAE International Award Recognition // URL: http://www.sae.org/servlets/pressRoom?OBJECT_TYPE=PressReleases&PAGE=showRelease&RELEASE_ID=1274.
- Ravigneaux P. Changement de vitesse йpicyclondal a 6 roues: патент на изобретение № FR48019. Опубликовано 16.10.1937.
- Lepelletier P. Multispeed Automatic Transmission for Automobile Vehicles: патент на изобретение № US5106352. Опубликовано 21.04.1992.
- Haupt J. Automatic Gearbox: патент на изобретение № US6729990. Опубликовано 04.05.2004.
- Ried K. Planetary Speed Change Transmission: патент на изобретение № US6302820. Опубликовано 16.10.2001.
- Kondo M., Hasegava Y., Takanami Y., Arai K., Tanaka M., Kinoshita M., Ootsuki T., Yamaguchi T., Fukatsu A. Toyota AA80E 8-Speed Automatic Transmission with Novel Powertrain Control System. Paper # 2007-01-1311. SAE International
- Diosi G., Haupt J., Gumpoltsberger G. и др. Multispeed Transmission: патент на изобретение № WO2006074707. Опубликовано 20.07.2006.
- Harmon K.B. The History of Allison Automatic Transmissions for On-Highway Trucks and Buses. Paper # 982791. SAE International.
- 9-Speed Automatic Transmission // URL: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html.

References

- Dorfschmid J., Dopfer W., Jaggle G., Heukelbach K. Evolution to the seven-speed automatic transmission 7G-Tronic Plus. ATZ 1212010, vol. 112. pp. 20–25.
- Heading for a whole new dimension. 9HP 9-speed automatic transmission for passenger cars. Brochure by ZF Friedrichshafen AG. URL: www.zf.com.
- Kharitonov S.A. *Avtomaticheskie korobki peredach* [Automatic transmissions]. Moscow: ООО

- «Izdatel'stvo Astrel'»: OOO «Izdatel'stvo AST» Publ., 2003. 335 p.
4. Sharipov V.M. *Konstruirovaniye i raschet traktorov* [Design and calculation of tractors]. Moscow: Mashinostroeniye Publ., 2009. 752 p.
 5. Nagaytsev M.V., Kharitonov S.A., Lyskov A.V. *Gidromekhanicheskaya korobka peredach* [Hydromechanical gearbox]: patent na izobretenie No RU2309309. Opublikovano 27.10.2007. Byul. No 30.
 6. Raghavan M., Bucknor N., Maguire J., Hendrickson J., Singh T. The Algebraic Design of Transmissions & EVT's. Paper # 2007-01-1458. SAE International.
 7. Raghavan M., Kao Chi-Kuan, Usoro P.B. Family of Multi-Speed Planetary Transmission Having Fixed Interconnections And Six Torque-Transmitting Mechanisms: patent na izobretenie No US6679802. Opublikovano 20.01.2004.
 8. Raghavan M., Bucknor N.K., Usoro P.B. Planetary Transmission Having A Stationary Member And Input Clutches: patent na izobretenie No US7101302. Opublikovano 05.09.2006.
 9. Lewis C., Bollwahn B. General Motors Hydra-Matic & Ford New FWD Six-Speed Automatic Transmission Family. Paper # 2007-01-1095. SAE International.
 10. Schweinsberg C. Honda Details Front-Engine, Front-Wheel-Drive 10AT on Odyssey. Ward'sAuto. 04.04.2017. URL: <http://wardsauto.com/technology/honda-details-front-engine-front-wheel-drive-10at-odyssey>.
 11. Shibamura M., Sugino S., Iizuka K. Automatic transmission: patent na izobretenie No US8992374. Opublikovano 31.03.2015.
 12. Simpson H.W. Planetary Transmission for Self-Propelled Vehicle: patent na izobretenie No US2856794. Opublikovano 21.10.1958.
 13. Pierre Lepelletier Receives SAE International Award Recognition. URL: http://www.sae.org/servlets/pressRoom?OBJECT_TYPE=PressReleases&PAGE=showRelease&RELEASE_ID=1274.
 14. Ravigneaux P. Changement de vitesse ĩpicyclondal a 6 roues: patent na izobretenie No FR48019. Opublikovano 16.10.1937.
 15. Lepelletier P. Multispeed Automatic Transmission for Automobile Vehicles: patent na izobretenie No US5106352. Opublikovano 21.04.1992.
 16. Haupt J. Automatic Gearbox: patent na izobretenie No US6729990. Opublikovano 04.05.2004.
 17. Ried K. Planetary Speed Change Transmission: patent na izobretenie No US6302820. Opublikovano 16.10.2001.
 18. Kondo M., Hasegava Y., Takanami Y., Arai K., Tanaka M., Kinoshita M., Ootsuki T., Yamagu-chi T., Fukatsu A. Toyota AA80E 8-Speed Automatic Transmission with Novel Powertrain Control System. Paper # 2007-01-1311. SAE International
 19. Diosi G., Haupt J., Gumpoltsberger G. i dr. Multispeed Transmission: patent na izobretenie No WO2006074707. Opublikovano 20.07.2006.
 20. Harmon K.B. The History of Allison Automatic Transmissions for On-Highway Trucks and Buses. Paper # 982791. SAE International.
 21. 9-Speed Automatic Transmission. URL: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html.

MODERN METHODS OF SYNTHESIS OF AUTOMATIC PLANETARY GEARBOXES

Ph.D. **K.B. Salamandra**

Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IMASH RAN), Moscow, Russia,
ksalamandra@yandex.ru

An increase in the number of gears in automotive transmissions is the most efficient way to reduce fuel consumption and improve the efficiency of automotive vehicles equipped with internal combustion engines. The more gears in the gearbox, the more complicated become the used mechanisms and their number increases as well. The article is devoted to the currently used methods of synthesis and design of automotive multi-speed transmissions consisting of planetary mechanisms. Restrictions on the type of planetary mechanisms used and the number of degrees of freedom of synthesized boxes led to a low efficiency of using mathematical and graphoanalytical methods of synthesis developed in the USSR. Currently analytical synthesis method is an exhaustive search of the possible embodiments of joining planetary mechanisms and control elements. This method provides the possibility of using only single-row three-link planetary mechanisms with correct mathematical description. The second basic way of designing planetary gearboxes is the modular principle of synthesis, which consists in attaching and combining some known and used designs with others. In this case, the main modules are single-row planetary gears with single-pair or pair-wise satellites and planetary gears developed by Simpson and Ravigneaux. Most gearboxes developed by German companies are obtained using this particular approach. The article presents kinematic schemes of gearboxes, currently used in transmissions of modern cars, which are obtained as a result of using the described methods of synthesis.

Keywords: synthesis of mechanisms, design, planetary transmission, gearbox, automatic transmission, transmission, reduced fuel consumption, increased efficiency