

УДК 629.11.012

## АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОРОБОК ПЕРЕМНЫ ПЕРЕДАЧ MERCEDES, ОБЛАДАЮЩИХ ЧЕТЫРЬМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

С. А. Харитонов, к. т. н., доц., А. П. Федоренков, к. т. н., доц. / МГТУ им. Н. Э. Баумана  
М. М. Нагайцев, ген. дир. / ООО «КАТЕ»

Анализ развития трансмиссий легкового автомобильного транспорта показывает, что в последние годы наибольший прогресс произошёл в области автоматических коробок перемены передач (АКПП). Так, за сравнительно небольшой промежуток времени, начиная примерно с 2000-х годов, число передач в АКПП увеличилось с пяти до девяти. В настоящее время практически все ведущие автопроизводители используют на своих автомобилях повышенной комфортности АКПП, реализующие как минимум шесть передач переднего хода. А многие из них устанавливают уже семи-, восьми- и девятиступенчатые АКПП.

Так, Mercedes объявил, что с осени 2013 года будет использовать на автомобилях класса E, а в дальнейшем и на автомобилях класса C девятиступенчатые АКПП [1]. Следует отметить, что до этого на автомобилях Mercedes использовались семиступенчатые АКПП.

Компании Nissan и Infiniti на своих автомобилях бизнес-класса, начиная с 2009 года, используют семиступенчатые АКПП производства фирмы JATCO [2].

Японская фирма Aisin Warner (AW) разработала восьмиступенчатую АКПП для автомобилей с приводом на передние колёса и поперечным расположением двигателя [3]. Эта коробка используется многими производителями автомобилей, такими как Alfa Romeo, Cadillac, Citroën, Ford, Jaguar и другими. Для автомобилей с продольным расположением двигателя и приводом на задние колёса этой же фирмой была разработана также восьмиступенчатая АКПП, которая устанавливается на автомобили Lexus, Toyota, Audi, Porsche и Volkswagen [3].

Известная немецкая компания ZF предлагает для автомобилей с продольным расположением двигателя и задним приводом также восьмиступенчатые АКПП [4], а для переднеприводных автомобилей с поперечным расположением двигателя — девятиступенчатые автоматические коробки передач [5].

Такой прогресс в области АКПП объясняется прежде всего тем, что большинство из них строится на основе планетарных механизмов, которые, как известно, позволяют увеличивать число ступеней коробки передач при незначительном увеличении её габаритно-массовых показателей.

Кроме того, все ведущие производители автоматических коробок перешли при проектировании многоступенчатых АКПП на использование кинематических схем планетарных механизмов, обладающих четырьмя степенями свободы.

Как известно, для получения жёсткой кинематической связи в планетарной коробке передач, обладающей четырьмя степенями свободы, необходимо включить три элемента управления. Это естественным образом приводит к снижению потерь во фрикционных элементах управления, находящихся в выключенном состоянии, что стало возможным по двум причинам:

- уменьшение общего количества фрикционных элементов управления;
- увеличение числа включённых элементов управления с двух для трёхступенчатых схем до трёх для АКПП, обладающих четырьмя степенями свободы.

Таким образом, в мировом автомобилестроении намечилась чёткая тенденция увеличения количества передач в автоматических коробках передач. При этом разработчики АКПП стали отдавать предпочтение кинематическим схемам планетарных механизмов, обладающим четырьмя степенями свободы.

Одним из первых, кто стал использовать при разработке АКПП схемы, обладающие четырьмя степенями свободы, был Mercedes, разработавший ещё в девяностые годы прошлого века для своих автомобилей пятиступенчатую автоматическую коробку 722.6.

Таблица 1. Схема включения фрикционных элементов управления АКПП Mercedes 722.6

Передача	$i_{0x}$	B1	B2	B3	K1	K2	K3	F1	F2
1	3,59	X	X				X	X	X
2	2,19		X		X		X		X
3	1,41		X		X	X			
4	1,00				X	X	X		
5	0,83	X				X	X	X	
N	—	X					X		
3X1	-3,16	X		X			X	X	
3X2	-1,93			X	X		X		

Проведём анализ кинематических схем автоматических коробок Mercedes, обладающих четырьмя степенями свободы. В практике проектирования сложных планетарных механизмов для этого используются следующие характеристики:

- значения передаточных чисел ( $i_{0x}$ );
- коэффициент полезного действия (КПД) на передачах ( $\eta$ );
- изменение значения знаменателя геометрической прогрессии передаточных отношений ( $q$ );
- зависимость изменения частоты вращения ведомого вала при переключении передач;
- частота вращения звеньев;
- относительные угловые скорости сателлитов планетарных рядов;
- моменты, воспринимаемые элементами управления.

Для оценки частот вращения как звеньев, так и сателлитов, а также моментов, воспринимаемых элементами управления, в теории анализа и синтеза планетарных механизмов [6] используются их относительные величины. Причём за единицу измерения относительных частот вращения звеньев и сателлитов принимается частота вращения ведущего вала коробки передач. А для моментов, нагружающих элементы управления, — момент на ведущем звене. Таким образом, относительная частота вращения ведущего звена и относительный момент на этом звене всегда равны 1.

Следует отметить, что представленные ниже значения КПД учитывают только потери в зубчатых зацеплениях и не учитывают потери в выключенных фрикционных элементах управления, барботажные потери и потери холостого хода.

В теории анализа и синтеза планетарных механизмов принято обозначать любой планетарный ряд тремя идущими подряд символами. При этом на первом месте должен стоять символ звена, входящего в планетарный ряд в качестве малого центрального колеса (МЦК). Далее должен идти символ звена, являющегося водилом. А на третьей позиции — символ звена, которое входит в планетарный ряд в качестве большого центрального колеса (БЦК).

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРОБКА ПЕРЕМНЫ ПЕРЕДАЧ MERCEDES 722.6

Коробка передач Mercedes 722.6 обладает четырьмя степенями свободы и реализует пять передач переднего хода и две передачи заднего хода (3X) [7]. В состав кинематической схемы (рис. 1) входят три планетарных ряда, три дисковых тормоза (B1, B2 и B3), три дисковых блокировочных муфты (K1, K2 и K3) и две муфты свободного хода (F1 и F2). Все три планетарных ряда этой коробки передач относятся ко второму классу планетарных рядов. В теории анализа и синтеза планетарных механизмов к планетарным рядам второго класса относят планетарные ряды, внутреннее передаточное отношение которых, определённое при остановленном водиле, имеет отрицательное значение [6].

Первый планетарный ряд (230) составляют звенья 2 (МЦК), 3 (водило) и ведущее звено 0 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 1,563.

В состав второго планетарного ряда (6x4) входят звено 6 (МЦК), ведомое звено x (водило) и звено 4 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 2,438.

Третий планетарный ряд (543) состоит из звеньев 5 (МЦК), 4 (водило) и 3 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 1,809.

Три звена коробки передач Mercedes 722.6 оборудованы дисковыми тормозами. Это звенья 2 (тормоз B1), 4 (тормоз B3) и 6 (тормоз B2).

Также в коробке передач имеются три блокировочные муфты. Муфта K1 соединяет звенья 2 и 3, муфта K2 — звенья 0 и 4 и муфта K3 — звенья 5 и 6.

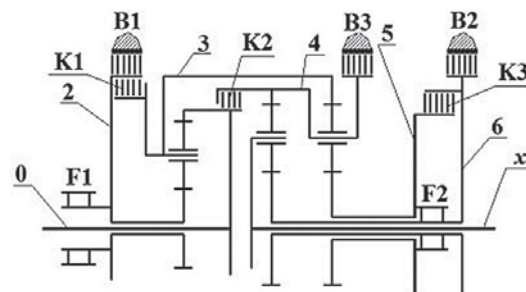


Рисунок 1. Кинематическая схема АКПП Mercedes 722.6

Таблица 2. Общие характеристики кинематической схемы АКПП Mercedes 722.6

Передача	1	2	3	4	5	3X1	3X2
$i_{0x}$	3,59	2,19	1,41	1,000	0,830	-3,416	-2,231
$q$	—	1,64	1,55	1,41	1,20	—	—
$\eta$	0,97	0,98	0,99	1,00	0,988	0,94	0,95

Таблица 3. Относительные частоты вращения звеньев АКПП Mercedes 722.6

Передача	1	2	3	4	5	3X1	3X2
Ведущее звено 0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Звено 2	0,0	1,000	1,000	1,000	0,0	0,0	1,000
Звено 3	0,61	1,000	1,000	1,000	0,61	0,61	1,000
Звено 4	0,393	0,644	1,000	1,000	1,000	0,0	0,0
Звено 5	0,0	0,0	1,000	1,000	1,706	-1,103	-1,809
Звено 6	0,0	0,0	0,0	1,000	1,706	-1,103	-1,809
Ведомое звено x	0,278	0,457	0,709	1,000	1,205	-0,321	-0,526

Таблица 4. Относительные угловые скорости спутников АКПП Mercedes 722.6

Передача	1	2	3	4	5	3X1	3X2
Ряд 230	2,166	0,0	0,0	0,0	2,166	2,166	0,0
Ряд 6x4	0,387	0,635	0,986	0,000	-0,696	1,088	1,784
Ряд 543	0,971	1,592	0,0	0,0	-1,745	2,727	4,472

Кроме того, АКПП Mercedes 722.6 оборудована двумя муфтами свободного хода. Как известно, муфты свободного хода в АКПП используются для обеспечения движения накатом без режима торможения двигателем. Муфта свободного хода F1 установлена между звеном 2 и картером коробки передач и обеспечивает торможение звена 2. Вторая муфта свободного хода F2 дублирует блокировочную муфту K3, соединяя звенья 5 и 6.

Схема включения элементов управления и значения передаточных отношений, получаемых при этом, представлены в табл. 1, где символом X отмечено включённое состояние фрикционного элемента управления.

В табл. 2 приведены значения передаточных отношений коробки передач  $i_{0x}$ , знаменателя геометрической прогрессии передаточных отношений  $q$  и коэффициента полезного действия зубчатых зацеплений (КПД)  $\eta$ .

Как видно из табл. 2, знаменатель геометрической прогрессии передаточных отношений равномерно уменьшается, что является характерным для АКПП легковых автомобилей [7]. Следует отметить достаточно высокие значения КПД зубчатых зацеплений этой коробки на всех передачах.

Кинематический диапазон коробки передач Mercedes 722.6 невелик и равен 4,33.

Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала  $\omega_0$  при переключении передач показана на рис. 2.

В табл. 3 и 4 представлены результаты расчёта относительных частот вращения звеньев и относительных

угловых скоростей спутников планетарных рядов в зависимости от номера включённой передачи.

Максимальную относительную частоту вращения, равную 1,706, имеют пятое и шестое звенья на пятой передаче (табл. 3). Практически на всех передачах относительные частоты всех звеньев положительны и не превышают значения частоты вращения ведущего вала АКПП (кроме звеньев 5 и 6 на пятой передаче). Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что относительные угловые скорости двух соседних звеньев имеют достаточно малые значения, что должно благоприятно сказываться на работе упорных игольчатых подшипников.

Как видно из табл. 4, максимальную относительную угловую скорость имеют спутники первого (230) и третьего

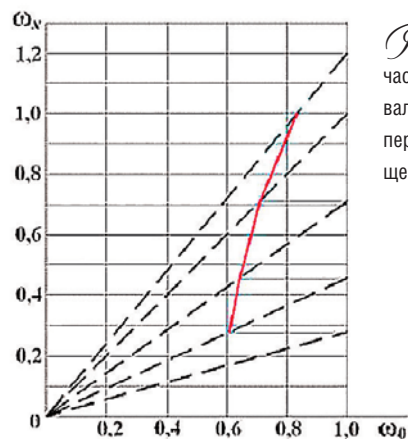


Рисунок 2. Изменение частоты вращения ведущего вала  $\omega_0$  при переключении передач ( $\omega_x$  – частота вращения ведомого вала АКПП)

Таблица 5. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП Mercedes 722.6

Передача	B1	B2	B3	K1	K2	K3
1	0,64	1,95	0,0	0,0	0,0	0,91
2	0,0	1,19	0,0	0,64	0,0	0,55
3	0,0	0,41	0,0	0,0	1,00	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,34	1,53	0,29
5	0,17	0,0	0,0	0,0	1,27	0,24
3X1	0,64	0,0	4,76	0,0	0,0	0,91
3X2	0,0	0,0	2,9	0,64	0,0	0,55

(543) планетарных рядов при движении на первой и пятой передачах и передачах заднего хода. Относительная угловая скорость сателлитов планетарного ряда 543 на передаче заднего хода 3X2 составляет 4,472, что при частоте вращения ведущего вала 6 000 об/мин составит 26 832 об/мин. Такие обороты сателлитов этого планетарного ряда недопустимы с точки зрения работоспособности подшипников сателлитов. Однако можно предположить, что передача 3X2 используется крайне редко и непродолжительное время. Кроме того, иногда разработчики автоматических коробок передач ограничивают мощность, развиваемую двигателем, при движении на первой передаче и передачах заднего хода, что, возможно, реализовано и в данном случае.

В табл. 5 приведены значения относительных моментов, воспринимаемых фрикционными элементами управления.

Максимальный момент на передачах переднего хода воспринимает тормоз B2 на первой передаче. Относительная величина этого момента составляет 1,95 момента, подводимого к ведущему валу АКПП. На передачах заднего хода максимальный относительный момент (4,76) воспринимает тормоз B3.

Из схемы включения фрикционных элементов управления (табл. 1) видно, что блокировочная муфта K3, соединяющая звенья 5 и 6, включена на всех передачах, кроме третьей. Если отказаться от этой (третьей) передачи, то блокировочную муфту K3 можно исключить из состава кинематической схемы, объединив при этом звенья 5 и 6 в одно звено (рис. 3). В этом случае кинематическая схема коробки передач становится трёхступенной — её план угловых скоростей показан на рис. 4.

Четыре рабочие точки переднего хода и две рабочие точки заднего хода, обозначенные на рис. 4 символом, соответствуют передачам, реализуемым в четырёхступенной коробке передач. Однако на плане угловых скоростей имеется ещё одна рабочая точка, образованная пересечением нулевых прямых 5 и 9, которая позволяет получить в трёхступенной коробке третью передачу с передаточным отношением, равным 1,41. Как видно из табл. 1, такое значение передаточного отношения точно соответствует передаточному отношению четырёхступенной коробки на третьей передаче.

Таким образом, возникает вопрос о целесообразности использования в составе кинематической схемы АКПП Mercedes 722.6 блокировочной муфты K3. При этом сравнительный анализ всех характеристик кинематической схемы Mercedes 722.6 и изменённой схемы показал их полное совпадение.

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРОБКА ПЕРЕМЕНЫ ПЕРЕДАЧ MERCEDES 722.9

Коробка передач Mercedes 722.9 относится к четырёхступенным и обеспечивает семь передач переднего хода и две передачи заднего хода [7].

В состав кинематической схемы (рис. 5) входят четыре планетарных ряда, четыре дисковых тормоза (B1, B2, B3 и BR) и три дисковых блокировочных муфты (K1, K2, K3). В отличие от предыдущих автоматических коробок перемены передач фирмы Mercedes, в коробке 722.9 отсутствуют муфты свободного хода.

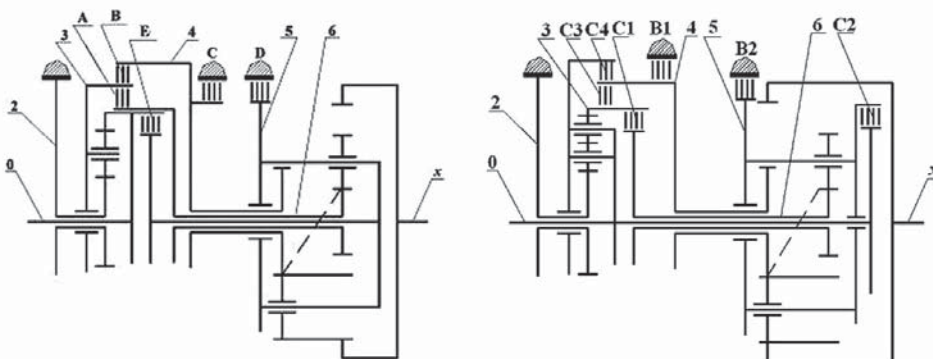


Рисунок 3. Изменённая кинематическая схема коробки передач Mercedes 722.6

Таблица 6. Схема включения фрикционных элементов управления АКПП Mercedes 722.9

Передача	$i_{0x}$	B1	B2	B3	BR	K1	K2	K3
1	4,377		X	X				X
2	2,859	X	X					X
3	1,921		X			X		X
4	1,368		X			X	X	
5	1,000					X	X	X
6	0,820	X					X	X
7	0,728			X			X	X
N	—			X				X
3X1	-3,416			X	X			X
3X2	-2,231	X			X			X

Таблица 7. Общие характеристики кинематической схемы АКПП Mercedes 722.9

Передача	1	2	3	4	5	6	7	3X1	3X2
$i_{0x}$	4,377	2,859	1,921	1,368	1,000	0,820	0,728	-3,416	-2,231
$q$	—	1,531	1,488	1,404	1,369	1,219	1,128	—	—
$\eta$	0,972	0,974	0,983	0,992	1,000	0,987	0,983	0,938	0,939

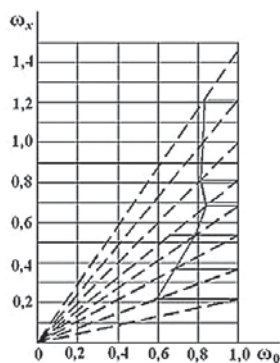


Рисунок 4. План угловых скоростей изменённой кинематической схемы коробки передач Mercedes 722.6

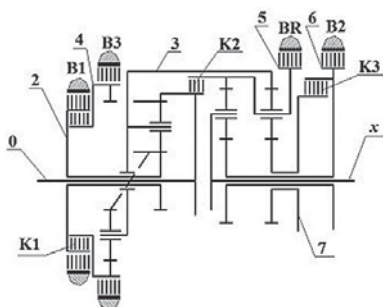


Рисунок 5. Кинематическая схема АКПП Mercedes 722.9

Первый планетарный ряд (034) составляют ведущее звено 0 (МЦК), звено 3 (води́ло) и звено 4 (БЦК). Планетарный ряд построен с использованием двух внутренних и одного внешнего зацеплений, имеет сцепленные сателлиты и относится ко второму классу планетарных рядов. Конструктивный параметр данного планетарного ряда равен 1,278.

Второй планетарный ряд (230) составляют звенья 2 (МЦК), 3 (води́ло) и ведущее звено (БЦК). Этот планетарный ряд относится ко второму классу и имеет одно-венцовые сателлиты. Конструктивный параметр ряда равен 2,048.

В состав третьего планетарного ряда (6x4) входят звено 6 (МЦК), ведомое звено x (води́ло) и звено 4 (БЦК). Планетарный ряд относится ко второму классу планетарных рядов и имеет одно-венцовые сателлиты. Конструктивный параметр ряда равен 2,712.

Четвёртый планетарный ряд (653) состоит из звеньев 6 (МЦК), 5 (води́ло) и 3 (БЦК) и относится так же, как и три предыдущих, ко второму классу планетарных рядов. Ряд имеет одно-венцовые сателлиты и конструктивный параметр 2,477.

Четыре звена коробки передач Mercedes 722.9 оборудованы дисковыми тормозами. Это звенья 2 (тормоз B1), 4 (тормоз B3), 5 (тормоз BR) и 6 (тормоз B2). Кроме того, в состав коробки передач входят три блокировочные муфты. Муфта K1 соединяет звенья 2 и 4, муфта K2 предназначена для блокировки звеньев 0 и 5, и, наконец, муфта K3 позволяет жёстко соединять звенья 6 и 7.

Схема включения элементов управления и значения передаточных отношений, получаемых при этом, представлены в табл. 6.

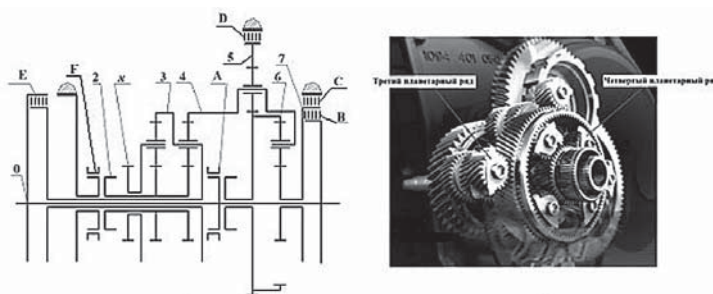
Рисунок 6. Изменение частоты вращения ведущего вала  $W_0$  при переключении передач ( $W_x$  – частота вращения ведомого вала АКПП)

Таблица 8. Относительные угловые скорости звеньев АКПП Mercedes 722.9

Передача	1	2	3	4	5	6	7	3X1	3X2
Ведущее звено 0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Звено 2	-0,710	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	-0,710	-0,710	0,000
Звено 3	0,439	0,672	1,000	1,000	1,000	0,672	0,439	0,439	0,672
Звено 4	0,000	0,425	1,000	1,000	1,000	0,415	0,000	0,000	0,415
Звено 5	0,313	0,479	0,712	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000
Звено 6	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,813	2,390	-1,087	-1,664
Звено 7	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,813	2,390	-1,087	-1,664
Ведомое звено x	0,228	0,350	0,520	0,731	1,000	1,219	1,374	-0,293	0,448

Таблица 9. Относительные угловые скорости спутников АКПП Mercedes 722.9

Передача	1	2	3	4	5	6	7	3X1	3X2
Ряды 034, 230	2,193	1,282	0,0	0,0	0,0	1,282	2,193	2,193	1,282
Ряд 6x4	0,267	0,409	0,608	0,854	0,0	-0,694	-1,186	0,928	1,421
Ряд 653	0,423	0,648	0,965	0,0	0,0	-1,100	-1,882	1,472	2,254

Таблица 10. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП Mercedes 722.9

Передача	B1	B2	B3	BR	K1	K2	K3
1	0,0	2,099	1,278	0,0	0,0	0,0	0,920
2	0,488	1,371	0,0	0,0	0,0	0,0	0,601
3	0,0	0,921	0,0	0,0	0,790	0,0	0,404
4	0,0	0,369	0,0	0,0	0,000	1,000	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,527	1,667	0,269
6	0,18	0,0	0,0	0,0	0,0	1,368	0,221
7	0,0	0,0	0,272	0,0	0,0	1,213	0,196
3X1	0,0	0,0	1,278	5,692	0,0	0,0	0,920
3X2	0,488	0,0	0,0	3,719	0,0	0,0	0,601

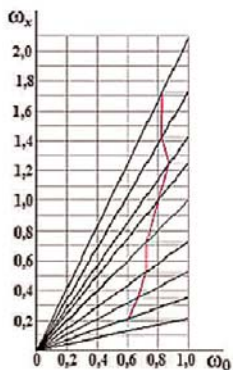


Рисунок 7. Изменённая кинематическая схема коробки передач Mercedes 722.9

Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала при переключении передач представлена для этой коробки на рис. 6.

В табл. 8 и 9 представлены значения относительных частот вращения звеньев и относительных угловых скоростей спутников планетарных рядов на различных передачах.

Из табл. 8 видно, что максимальную частоту вращения, равную 2,390, имеют шестое и седьмое звенья на седьмой передаче. Практически на всех передачах относительные угловые скорости всех звеньев (за исключением звена 2) имеют положительные значения,

В табл. 7 приведены значения передаточных отношений коробки передач  $i_{ox}$ , знаменателя геометрической прогрессии передаточных отношений  $q$  и КПД  $\eta$  зубчатых зацеплений.

Знаменатель геометрической прогрессии передаточных отношений равномерно уменьшается. Значения КПД зубчатых зацеплений достаточно высоки на всех передачах переднего хода. Диапазон коробки передач Mercedes 722.9 по сравнению с АКПП 722.6 увеличен и равен 6,015.

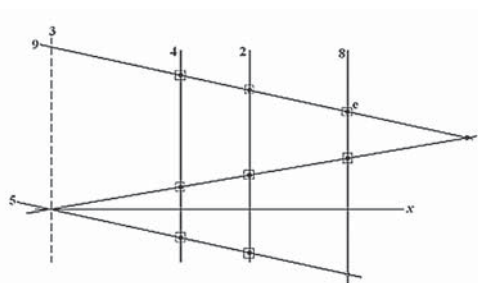


Рисунок 8. План угловых скоростей изменённой кинематической схемы коробки передач Mercedes 722.9

Таблица 11. Схема включения фрикционных элементов управления АКПП Mercedes 9G-Tronic

Передача	$i_{ox}$	A	B	C	D	E	F
1	5,503	X	X			X	
2	3,333		X			X	X
3	2,315	X	X				X
4	1,661	X			X		
5	1,211	X			X		X
6	1,000				X	X	X
7	0,865	X			X	X	
8	0,717			X	X	X	
9	0,601	X	X	X	X		
3X	-4,932	X	X	X			

Таблица 12. Общие характеристики кинематической схемы АКПП Mercedes 9G-Tronic

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3X
$i_{ox}$	5,503	3,333	2,315	1,661	1,211	1,0	0,865	0,717	0,601	-4,932
$q$	—	1,652	1,441	1,392	1,371	1,211	1,156	1,207	1,192	—
$\eta$	0,960	0,979	0,970	0,980	0,988	1,000	0,992	0,991	0,981	0,941

не превышающие единицы (кроме звена 7 на шестой и седьмой передачах).

Максимальную относительную угловую скорость имеют сателлиты первого и второго планетарных рядов (230) при движении на первой и седьмой передачах и передаче заднего хода и четвертого планетарного ряда на второй передаче заднего хода 3X2.

В табл. 10 приведены результаты расчёта относительных моментов, воспринимаемых фрикционными элементами управления.

Максимальный относительный момент (2,099) на передачах заднего хода воспринимает тормоз B2, а на передачах заднего хода — тормоз BR. На первой передаче заднего хода этот элемент управления должен удерживать момент, в 5,692 раза превышающий момент, подводимый к ведущему валу.

Из схемы включения фрикционных элементов управления (табл. 6) видно, что блокировочная муфта K3, соединяющая звенья 6 и 7, включена на всех передачах, кроме четвертой. Если отказаться от этой (четвертой) передачи, то блокировочную муфту K3 можно исключить из состава кинематической схемы, объединив при этом звенья 6 и 7 в одно звено (рис. 7).

В этом случае кинематическая схема коробки передач становится трёхступенной, план угловых скоростей которой показан на рис. 8.

Шесть рабочих точек переднего хода и две рабочие точки заднего хода, обозначенные на рис. 8 символом, соответствуют передачам, реализуемым в четырёхступенной коробке передач. Однако на плане угловых скоростей имеется ещё одна рабочая точка, образованная пересечением нулевых прямых 6 и 9, которая позволяет

получить в трёхступенной коробке четвертую передачу с передаточным отношением, равным 1,365. Как видно из табл. 8, такое значение передаточного отношения точно соответствует передаточному отношению четырёхступенной коробки на четвертой передаче.

Сравнительный анализ всех кинематических и силовых характеристик кинематической схемы Mercedes 722.9 и изменённой схемы показал полное их совпадение. Таким образом, так же, как и для предыдущей схемы, возникает вопрос о целесообразности использования в составе кинематической схемы блокировочной муфты K3.

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРОБКА ПЕРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧ MERCEDES 9G-TRONIC

АКПП Mercedes 9G-Tronic предназначена для совместной работы с дизельным двигателем, развивающим 1 000 Н·м [1]. Она построена по кинематической схеме, обладающей четырьмя степенями свободы, и реализует девять передач переднего хода и одну передачу заднего хода.

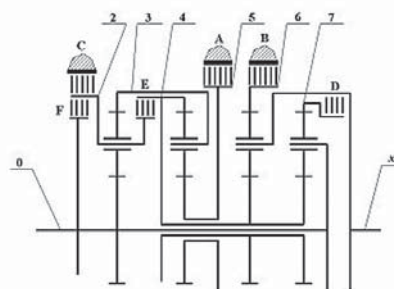


Рисунок 9.  
Кинематическая схема  
коробки передач  
Mercedes 9G-Tronic

Таблица 13. Относительные частоты вращения звеньев АКПП Mercedes 9G-Tronic

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3X
Звено 0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Звено 2	0,605	1,0	1,0	1,267	1,0	1,0	0,605	0,0	0,0	0,0
Звено 3	0,420	1,0	1,0	1,392	1,0	1,0	0,42	-0,469	-0,469	-0,469
Звено 4	0,605	1,0	1,441	2,006	1,441	1,0	0,605	0,0	-0,676	-0,676
Звено 5	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	-1,535	0,0	0,0
Звено 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,562	1,0	1,392	1,994	2,666	0,0
Звено 7	1,156	1,0	0,826	0,602	0,826	1,0	1,156	1,396	1,663	1,663
Звено х	0,182	0,300	0,432	0,602	0,826	1,0	1,156	1,396	1,663	-0,203

Таблица 14. Относительные угловые скорости спутников АКПП Mercedes 9G-Tronic

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3X
Ряд 023	-0,698	0,0	0,0	0,473	0,0	0,0	-0,698	-1,770	-1,770	-1,770
Ряд 534	0,662	0,0	1,576	2,194	1,576	0,0	0,662	1,679	-0,740	0,740
Ряд 4x5	-0,636	-1,051	-1,514	-2,108	-0,924	0,0	0,827	1,095	3,513	0,711
Ряд 407	0,516	0,0	-0,577	-1,317	-0,577	0,0	0,516	1,309	2,194	2,194

Таблица 15. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП Mercedes 9G-Tronic

Передача	A	B	C	D	E	F
1	0,652	3,851	0,0	0,0	3,130	0,0
2	0,0	2,332	0,0	0,0	1,0	1,0
3	0,306	1,619	0,0	0,0	0,0	1,469
4	0,0	0,661	0,0	0,717	0,0	0,0
5	0,211	0,0	0,0	1,211	0,0	1,014
6	0,0	0,0	0,0	1,0	0,396	0,396
7	0,135	0,0	0,0	0,865	0,648	0,0
8	0,0	0,0	0,283	0,717	0,283	0,0
9	0,105	0,0	0,504	0,601	0,0	0,0
3X	0,652	3,448	3,130	0,0	0,0	0,0

В состав кинематической схемы (рис. 9) входят четыре планетарных ряда, три дисковых тормоза и три дисковых блокировочных муфты. Все четыре планетарных ряда относятся ко второму классу планетарных рядов и имеют однозвеновые сателлиты.

Первый планетарный ряд (023) составляют ведущее звено 0 (МЦК), звено 2 (водило) и звено 3 (БЦК). Конструктивный параметр этого ряда равен 2,13.

Второй планетарный ряд (534) составляют звенья 5 (МЦК), 3 (водило) и 4 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 2,269.

В состав третьего планетарного ряда (4x5) входят звено 4 (МЦК), ведомое звено х (водило) и звено 5 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 2,332.

Четвёртый планетарный ряд (407) состоит из звена 4 (МЦК), ведущего звена 0 (водило) и звена 7 (БЦК). Конструктивный параметр этого ряда равен 2,528.

Три звена коробки передач 9G-Tronic оборудованы дисковыми тормозами: звенья 2 (тормоз С), 5 (тормоз А) и 6 (тормоз В).

Кроме того, в состав коробки передач входят три блокировочные муфты. Муфта F может соединять ведущее звено 0 со звеном 2, муфта E — звенья 2 и 4, муфта D — звено 7 и ведомое звено х.

Схема включения элементов управления и значения передаточных отношений, получаемых при этом, представлены в табл. 11.

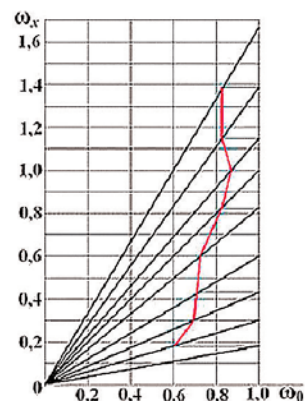


Рисунок 10.

Изменение частоты вращения ведущего вала  $\omega_0$  при переключении передач ( $\omega_x$  — частота вращения ведомого вала АКПП)



В табл. 12 приведены значения передаточных отношений коробки передач  $i_{0,x}$ , знаменателя геометрической прогрессии передаточных отношений  $q$  и коэффициента полезного действия зубчатых зацеплений (КПД)  $\eta$ .

Кинематический диапазон коробки передач Mercedes 9G-Tronic составляет 9,152, что значительно превышает диапазоны двух предыдущих коробок передач фирмы Mercedes.

Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала при переключении передач АКПП Mercedes 9G-Tronic приведена на рис. 10.

В табл. 13 и 14 представлены значения относительных частот вращения звеньев и относительных угловых скоростей сателлитов планетарных рядов на различных передачах.

Максимальную относительную частоту вращения, равную 2,666, имеет шестое звено на девятой передаче.

Как видно, максимальную относительную угловую скорость имеют сателлиты третьего (4х5) планетарного ряда. Относительная угловая скорость сателлитов этого планетарного ряда при движении на девятой передаче составляет 3,513, что при максимальной частоте вращения ведущего вала дизельного двигателя 4 000 об/мин является вполне приемлемым.

В табл. 15 приведены значения относительных моментов, воспринимаемых фрикционными элементами управления на различных передачах.

Как и должно быть, максимальные относительные моменты воспринимаются элементами управления на первой передаче переднего хода и передаче заднего хода. Тормоз В воспринимает момент в 3,851 раза больше момента на ведущем валу, а блокировочная муфта Е передаёт момент в 3,13 раза больше по сравнению с моментом, подводимым к ведущему валу коробки передач.

Как показывает приведённый выше анализ, разработчикам автоматических коробок передач Mercedes удалось за счёт добавления только одного планетарного ряда увеличить количество передач с шести для коробки 722.6 до девяти (коробка передач 9G-Tronic), а кинематический диапазон был расширен более чем в два раза. При этом все кинематические и силовые характеристики планетарных механизмов, как показывают расчёты, имеют вполне приемлемые значения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Dörr C. The New Automatic Transmission 9G-Tronic from Mercedes-Benz // 12th International Symposium Automotive Transmissions: HEV and EV Drivers. — Germany, 2013.
2. 7-speed AT for Medium and Large RWD Vehicles JR710E/JR711E. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jatco.co.jp/ENGLISH/products/stepat/jr710e.html> (дата обращения: 24.01.2014).
3. Major Product Information: Automatic Transmission. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aisin-aw.co.jp/en/products/drivetrain/at/index.html> (дата обращения: 24.01.2014).
4. The New 8-Speed-Automatic Transmission. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/8hp\\_automatic\\_transmissions/8hp\\_automatic\\_transmission.html](http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/8hp_automatic_transmissions/8hp_automatic_transmission.html) (дата обращения: 24.01.2014).
5. The World's First 9-Speed-Automatic. Passenger Car Transmission. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/9hp\\_automatic\\_transmission/9hp\\_automatic\\_transmission.html](http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html) (дата обращения: 24.01.2014).
6. Красеньков В. И., Вашец А. Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. — М.: Машиностроение, 1986. — 273 с.
7. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. — Second Edition. — Springer Edition. — Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2011. — 715 p.