

УДК 629.11.012

## АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОРОБОК ПЕРЕМЕНЫ ПЕРЕДАЧ JATCO И AISIN AW CO., 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»

Японские фирмы JATCO и Aisin AW CO. (AW) хорошо известны на рынке автоматических коробок перемены передач (АКПП). Их коробки устанавливаются как на японские, так и на европейские автомобили.

JATCO, начиная с 2009 года, выпускает семиступенчатую АКПП.

Фирма AW разработала восьмиступенчатую АКПП для автомобилей с приводом на передние колёса и поперечным расположением двигателя. 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.

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

- значения передаточных чисел ( $i_{0\alpha}$ );

- 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 [1] 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 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).

Таблица 1. Схема включения фрикционных элементов управления АКПП JR710E/JR711E

Передача	$i_{0x}$	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3
1	5,68	X	X					X
2	3,54		X	X				X
3	2,26		X	X			X	
4	1,47			X			X	X
5	1,00					X	X	X
6	0,83			X		X		X
7	0,74	X				X		X
3X	-3,80	X			X			X

Таблица 2. Общие характеристики кинематической схемы АКПП JR710E/JR711E

Передача	1	2	3	4	5	6	7	3X
$i_{0x}$	5,68	3,54	2,26	1,47	1,00	0,83	0,74	-3,80
$q$	—	1,600	1,568	1,541	1,469	1,197	1,130	—
$\eta$	0,951	0,969	0,980	0,990	1,00	0,988	0,981	0,924

#### АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОРОБКИ ПЕРЕМНЫ ПЕРЕДАЧ JATCO JR710E/JR711E

Коробки передач JR710E/JR711E (по классификации Nissan — RE7R01A/RE7R01B) используются с 2009 года. Данные АКПП относятся к четырёхступенным и реализуют семь передач переднего хода и одну — заднего (3X).

Модификация JR711E рассчитана на агрегатирование с двигателем, развивающим крутящий момент 600 Н·м (автомобили Patrol, QX56, M56 с рабочим объёмом двигателя 5,6 литра), а JR710E — на работу с двигателями, максимальный крутящий момент которых не превышает 400 Н·м (автомобили Infinity и Nissan с рабочим объёмом двигателя до 3,0 литра).

В состав кинематической схемы АКПП JR710E/JR711E (рис. 1) входят четыре планетарных ряда, четыре дисковых тормоза и три дисковых блокировочных муфты [2]. Все четыре планетарных ряда относятся ко второму классу планетарных рядов и имеют одновенцовые сателлиты. Напомним, что в теории синтеза планетарных механизмов к планетарным рядам второго класса относятся планетарные ряды, внутреннее передаточное отношение которых, определённое при остановленном водиле, имеет отрицательное значение [1].

Анализ кинематической схемы АКПП JR710E/JR711E вызывает некоторое недоумение из-за большого количества фрикционных элементов управления. С помощью четырёх планетарных рядов и семи элементов управления эта схема реализует только семь передач переднего хода и одну — заднего. Для сравнения можно привести в пример АКПП ZF 8HP [3], в которой с помощью четырёх планетарных рядов и только пяти элементов управления реализуется восемь передач переднего хода и одна — заднего. Таким образом, получается, что на каждой пере-

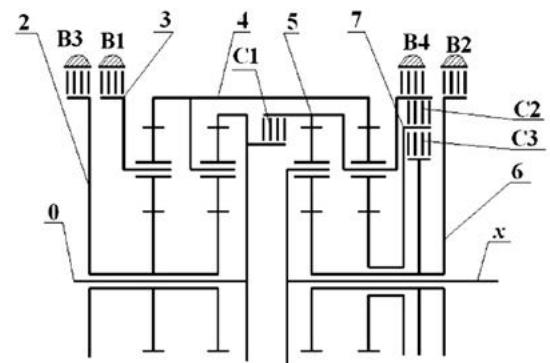


Рисунок 1. Кинематическая схема коробок передач JR710E/JR711E

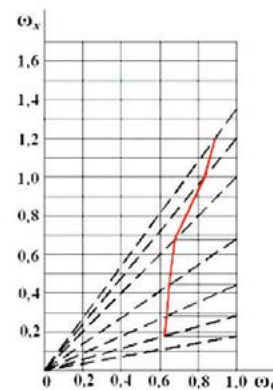


Рисунок 2. Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала  $\omega_0$  при переключении передач ( $\omega_x$  — частота вращения ведомого вала АКПП)

Таблица 3. Относительные частоты вращения звеньев АКПП JR710E/JR711E

Передача	1	2	3	4	5	6	7	3X
Звено 0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Звено 2	-0,802	0,0	0,00	0,00	1,00	0,0	-0,802	-0,802
Звено 3	0,0	0,445	0,445	0,445	1,00	0,445	0,0	0,0
Звено 4	0,424	0,681	0,681	0,681	1,00	1,681	0,424	0,424
Звено 5	0,271	0,434	0,681	0,681	1,00	1,00	1,00	0,0
Звено 6	0,0	0,0	0,0	0,681	1,00	1,562	2,013	-0,747
Звено 7	0,0	0,0	0,681	0,681	1,00	1,562	2,013	-0,747
Звено x	0,176	0,282	0,442	0,681	1,00	1,197	1,356	-0,262

Таблица 4. Относительные угловые скорости сателлитов АКПП JR710E/JR711E

Передача	1	2	3	4	5	6	7	3X
Ряд 234	1,80	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,80	1,80
Ряд 240	2,17	1,20	1,20	1,20	0,0	1,20	2,17	2,17
Ряд 6x5	0,41	0,66	1,04	0,0	0,0	0,86	1,55	1,14
Ряд 754	0,71	1,14	0,0	0,0	0,0	1,48	2,67	1,96

Таблица 5. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП JR710E/JR711E

Передача	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3
1	1,357	3,337	0,0	0,0	0,0	0,0	1,339
2	0,0	2,081	0,469	0,0	0,0	0,0	0,835
3	0,0	0,794	0,469	0,0	0,0	0,834	0,0
4	0,0	0,0	0,469	0,0	0,0	1,351	0,516
5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,351	0,351
6	0,0	0,0	0,165	0,0	1,351	0,0	0,293
7	0,262	0,0	0,0	0,0	1,193	0,0	0,259
3X	1,357	0,0	0,0	6,173	0,0	0,0	1,339

даче в коробках JR710E/JR711E по сравнению с коробкой ZF 8HP вращается вхолостую на два фрикционных элемента управления больше. Это обстоятельство должно обуславливать повышенные потери мощности в дисковых фрикционных элементах управления, не задействованных на передачах. При этом количество передач, реализуемых в АКПП JR710E/JR711E, на одну меньше.

Первый планетарный ряд (234) АКПП JR710E/JR711E составляют звенья 2 (МЦК), 3 (водило) и 4 (БЦК). Конструктивный параметр данного планетарного ряда равен 1,89.

Второй планетарный ряд (240) состоит из звеньев 2 (МЦК), 4 (водило) и ведущего звена 0 (БЦК). Его конструктивный параметр равен 2,13.

В состав третьего планетарного ряда (6x5) входят звено 6 (МЦК), ведомое звено x (водило) и звено 5 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 1,85.

Четвёртый планетарный ряд (754) составляют звенья 7 (МЦК), 5 (водило) и 4 (БЦК). Конструктивный параметр этого ряда равен 1,76.

Четыре звена коробок передач JR710E/JR711E оборудованы дисковыми тормозами. Это звенья 2 (тормоз B3), 3 (тормоз B1), 5 (тормоз B4) и 6 (тормоз B2). Кроме того, в состав коробки передач входят три блокировочные муфты. Муфта C1 установлена между ведущим звеном 0 и звеном 5; муфта C2 — между звеньями 5 и 7; муфта C3 соединяет звенья 6 и 7.

Схема включения элементов управления и значения передаточных отношений, получаемых при этом, представлены в табл. 1.

В табл. 2 показаны значения передаточных отношений коробки передач  $i_{ox}$ , знаменателя геометрической прогрессии  $q$  и КПД  $\eta$ . Как видно, с повышением передачи происходит планомерное уменьшение знаменателя геометрической прогрессии  $q$ , что является характерным для легкового автотранспорта [5].

Кинематический диапазон коробок передач JR710E/JR711E достаточно большой и равен 7,718.

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

Таблица 6. Числа зубьев шестерён планетарных рядов АКПП TL-80SN

Планетарный ряд	Элемент планетарного ряда	Число зубьев
203	МЦК	38
	Сателлит (МЦК)	16
	Сателлит (БЦК)	19
	БЦК	82
45x	МЦК	34
	Сателлит	20
	БЦК	74
654	МЦК	30
	Сателлит (МЦК)	17
	Сателлит (БЦК)	20
	БЦК	34

Таблица 7. Схема включения фрикционных элементов управления АКПП AW TL-80SN

Передача	$i_{0x}$	B1	B2	C1	C2	C3	C4
1	4,596		X	X			
2	2,724	X		X			
3	1,863			X		X	
4	1,464			X			X
5	1,231			X	X		
6	1,000				X		X
7	0,824				X	X	
8	0,685	X			X		
3X	-2,176		X				X

Таблица 8. Общие характеристики кинематической схемы АКПП AW TL-80SN

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	3X
$i_{0x}$	4,596	2,724	1,863	1,464	1,231	1,000	0,824	0,685	-2,176
$q$	—	1,688	1,462	1,273	1,189	1,231	1,213	1,203	—
$\eta$	0,874	0,919	0,960	0,959	0,970	1,000	0,985	0,990	0,970

В табл. 3 и 4 представлены значения относительных частот вращения звеньев и относительных угловых скоростей сателлитов планетарных рядов на различных передачах.

Из табл. 3 видно, что максимальную угловую скорость, равную 2,013, имеют шестое и седьмое звенья на седьмой передаче. Практически на всех передачах относительные угловые скорости всех звеньев (за исключением передачи 3X) имеют положительные значения. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что относительные угловые скорости двух звеньев будут иметь малые значения, что должно благоприятно сказаться на работе упорных игольчатых подшипников.

Как видно, максимальную относительную угловую скорость имеют сателлиты четвёртого планетарного ряда (754) при движении на седьмой передаче (2,67).

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

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРОБКА ПЕРЕМЕНЫ ПЕРЕДАЧ AW TL-80SN

Коробка передач AW TL-80SN классифицируется как четырёхступенная и реализует восемь передач переднего хода и одну передачу заднего хода.

АКПП TL-80SN производства Aisin AW CO. устанавливается с 2007 года на заднеприводные автомобили Lexus LS460 (GS460) и Toyota Land Cruiser с двигателями от 4,6 до 5,0 литра и максимальным крутящим моментом до 550 Н·м. Кроме того, эта коробка используется на автомобилях Cadillac CTS 2014 года с новым двигателем объёмом 3,6 литра. В состав кинематической схемы (рис. 3а) входят три планетарных ряда, два дисковых тормоза и четыре дисковых блокировочных муфты [4].

Первый планетарный ряд (203) составляют звено 2 (МЦК), ведущее звено 0 (водило) и звено 3 (БЦК). Этот ряд имеет сцепленные сателлиты и относится к первому классу планетарных рядов. Его конструктивный параметр равен 2,16.

Таблица 9. Относительные угловые скорости звеньев АКПП AW TL-80SN

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	3X
Звено 0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Звено 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Звено 3	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537
Звено 4	-0,437	0,0	0,537	1,00	1,409	1,00	0,537	0,0	1,00
Звено 5	0,0	0,252	0,537	0,783	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0
Звено 6	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537	1,00	1,525	2,133	-1,133
Звено x	0,218	0,367	0,537	0,683	0,812	1,00	1,213	1,459	-0,459

Таблица 10. Относительные угловые скорости спутников АКПП AW TL-80SN

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	3X
Ряд 203 (МЦК)	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25
Ряд 203 (БЦК)	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053
Ряд 45x	0,805	0,428	0,0	-0,369	-0,695	0,0	0,788	1,700	-1,700
Ряд 654 (МЦК)	0,631	0,335	0,0	-0,290	-0,545	0,0	0,618	1,133	-1,133
Ряд 654 (БЦК)	-0,537	-0,285	0,0	0,246	0,463	0,0	-0,525	-0,963	0,963

Таблица 11. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП AW TL-80SN

Передача	B1	B2	C1	C2	C3	C4
1	0,0	2,733	1,864	0,0	0,0	0,0
2	0,860	0,0	1,864	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	1,275	0,0	0,589	0,0
4	0,0	0,0	1,002	0,0	0,0	0,463
5	0,0	0,0	0,500	0,732	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	1,459	0,0	0,459
7	0,0	0,0	0,0	1,203	0,379	0,0
8	0,315	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0
3X	0,0	3,176	0,0	0,0	0,0	1,00

Второй планетарный ряд (45x) составляют звенья 4 (МЦК), 5 (водило) и ведомое звено x (БЦК). Это планетарный ряд второго класса с конструктивным параметром 2,18.

В состав третьего планетарного ряда (654) входят звенья 6 (МЦК), 5 (водило) и 4 (БЦК). Планетарный ряд

имеет сцепленные спутники и относится ко второму классу планетарных рядов. Конструктивный параметр ряда равен 1,13.

Несложный анализ этой кинематической схемы показывает, что в качестве основы этой схемы была взята известная кинематическая схема Лепелетье (Lepelletier),

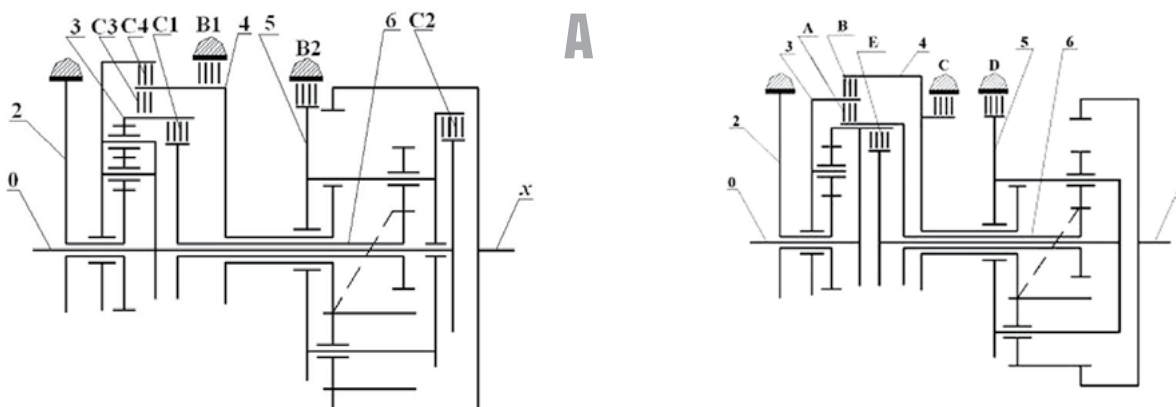


Рисунок 3. Кинематическая схема коробки передач AW TL80SN (а) и кинематическая схема коробки передач ZF 6HP (схема Лепелетье) (б)

которая реализует шесть передач переднего хода и одну — заднего (рис. 3б). В отличие от схемы Лепетье, первый планетарный ряд, относящийся ко второму классу, был заменён на планетарный ряд первого класса со сцепленными сателлитами и была добавлена ещё одна блокировочная муфта, установленная между ведущим звеном 0 и звеном 5. Это позволило увеличить число передач переднего хода с шести до восьми.

В табл. 6 представлены числа зубьев шестерён планетарных рядов.

Два звена коробки передач AW TL-80SN оборудованы дисковыми тормозами. Это звенья 4 (тормоз В1) и 5 (тормоз В2). Одно звено (2) постоянно замкнуто на корпус коробки передач.

Кроме того, в состав коробки передач входят четыре блокировочные муфты. Муфта С1 может соединять звенья 3 и 6; муфта С2 — ведущее звено 0 и звено 5; муфта С3 — звенья 3 и 4 и, наконец, муфта С4 — ведущее звено 0 и звено 4.

Схема включения элементов управления и значения передаточных отношений, получаемых при этом, представлены в табл. 7.

В табл. 8 представлены значения передаточных отношений коробки передач  $i_{0x}$ , знаменателя геометрической прогрессии  $q$  и КПД зубчатых зацеплений  $\eta$ .

Следует отметить весьма низкие значения КПД коробки передач на первых двух передачах, что вполне естественно, поскольку в кинематической схеме используются планетарные ряды со сцепленными сателлитами (203 и 654), которые имеют, по сравнению с планетарными рядами с одновенцовыми и двухвенцовыми сателлитами, более низкие значения КПД зубчатых зацеплений. Высокие значения КПД зубчатых зацеплений на седьмой и восьмой передачах объясняются тем обстоятельством, что, как показывает анализ потоков мощности, на этих двух передачах планетарные ряды со сцепленными сателлитами (203 и 654) не работают, то есть не участвуют в передаче мощности от ведущего вала коробки передач к ведомому.

Кинематический диапазон коробки передач AW TL-80SN составляет 6,709.

Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала при переключении передач показана на рис. 4.

В табл. 9 и 10 представлены значения относительных частот вращения звеньев и относительных угловых скоростей сателлитов планетарных рядов на различных передачах.

Из табл. 9 видно, что максимальную относительную частоту вращения, равную 2,133, имеет шестое звено на восьмой передаче. Практически на всех передачах относительные угловые скорости всех звеньев (за исключением передачи заднего хода) имеют положительные значения, что предопределяет незначительные значения разности частот вращения двух соседних звеньев.

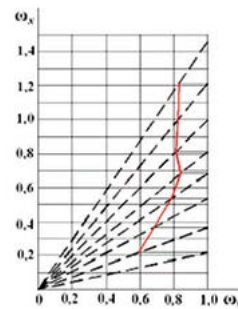


Рисунок 4. Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала  $\omega_x$  при переключении AW TL-80SN ( $\omega_x$  — частота вращения ведомого вала АКПП)

Как видно из табл. 10, максимальную относительную угловую скорость имеют сателлиты первого планетарного ряда (45х) при движении на седьмой передаче (1,700).

В табл. 11 приведены значения относительных моментов, воспринимаемых фрикционными элементами управления на различных передачах.

Таким образом, можно отметить, что кинематические схемы, выбранные фирмами JATCO и Aisin AW CO. для семи- и восьмиступенчатых АКПП, далеки от оптимальных. Кинематическая схема семиступенчатых АКПП JR710E/JR711E построена с использованием излишних дисковых фрикционных элементов управления, что обуславливает дополнительные потери мощности в элементах управления, которые находятся в выключенном состоянии. В случае же с кинематической схемой АКПП AW TL-80SN наличие двух планетарных рядов со сцепленными сателлитами также приводит к значительному снижению КПД коробки, особенно на первых двух передачах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Красеньков В. И., Вашец А. Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. — М.: Машиностроение, 1986. — 273 с.
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. 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).
4. 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).
5. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. — Second Edition. — Springer: Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2011. — 715 p.