

УДК 629.11.012

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОРОБОК ПЕРЕМНЫ ПЕРЕДАЧ ZF, 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»

Одной из ведущих фирм в области производства автоматических коробок перемены передач (АКПП) является немецкая компания ZF. Её коробки устанавливаются на самые престижные европейские автомобили, такие как BMW, Audi и другие.

В настоящее время немецкая фирма ZF выпускает четырёхступенчатые шестиступенчатые АКПП, предназначенные для транспортных средств с приводом на передние колёса и продольным расположением двигателя, восьмиступенчатые — для автомобилей с задним приводом и девятиступенчатые — для переднеприводных автомобилей с поперечным расположением двигателя.

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

- значения передаточных чисел (i_{α});
- коэффициент полезного действия (КПД) на передачах (η);
- 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).

АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОРОБКИ ПЕРЕМНЫ ПЕРЕДАЧ ZF 6HP

На базе кинематической схемы Лепелетье (Lepelletier) фирма ZF разработала серию шестиступенчатых АКПП, получивших индекс ZF 6HP. Коробки ZF 6HP обладают четырьмя степенями свободы и реализуют шесть передач переднего хода и одну передачу заднего хода (ЗХ). Серия АКПП состоит из пяти типоразмеров, предназначенных для работы с двигателями, развивающими различные моменты: ZF 6HP19, ZF 6HP21, ZF 6HP26, ZF 6HP28 и ZF 6HP32.

В состав кинематической схемы Лепелетье (рис. 1) входят три планетарных ряда, два дисковых тормоза и три дисковых блокировочных муфты.

Таблица 1. Схема включения фрикционных элементов управления АКПП ZF 6HP

Передача	i_{0x}	Тормоз звена 2	C	B	A	B	E
1	4,121	X		X	X		
2	2,325	X	X		X		
3	1,526	X			X	X	
4	1,146	X			X		X
5	0,867	X				X	X
6	0,692	X	X				X
3X1	-3,434	X		X		X	

Таблица 2. Общие характеристики кинематической схемы АКПП ZF 6HP

Передача	1	2	3	4	5	6	3X
i_{0x}	4,121	2,325	1,526	1,146	0,867	0,692	-3,434
q	—	1,773	1,523	1,331	1,322	1,252	—
η	0,902	0,948	0,990	0,985	0,993	0,991	0,960

Таблица 3. Относительные частоты вращения звеньев АКПП ZF 6HP

Передача	1	2	3	4	5	6	3X1
Звено 0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Звено 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Звено 3	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655
Звено 4	-0,546	0,0	0,655	1,287	0,655	0,0	0,655
Звено 5	0,0	0,298	0,655	1,0	1,0	1,0	0,0
Звено 6	0,655	0,655	0,655	0,655	1,414	2,200	-0,786
Звено x	0,243	0,430	0,655	0,872	1,153	1,444	-0,291

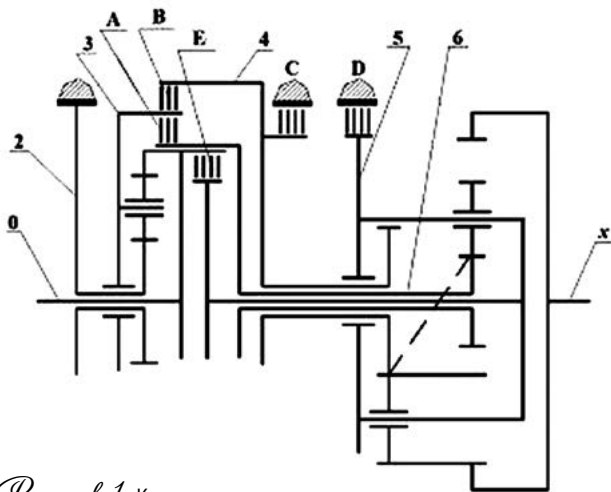


Рисунок 1. Кинематическая схема АКПП ZF 6HP

Первый планетарный ряд (230) состоит из звеньев 2 (МЦК), 3 (водило) и ведущего звена 0 (БЦК). Планетарный ряд относится ко второму классу планетарных рядов и имеет конструктивный параметр, равный 1,9. В теории синтеза планетарных механизмов к планетарным рядам второго класса относят планетарные ряды, внутреннее передаточное отношение которых, определенное при остановленном водиле, имеет отрицательное значение [2].

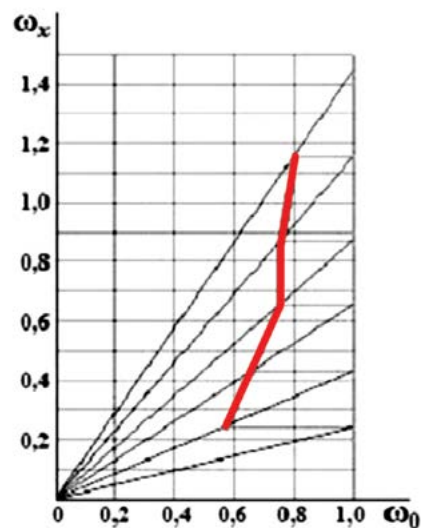


Рисунок 2. Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала при переключении передач АКПП ZF 6HP

Второй планетарный ряд (45x) образуют звенья 4 (МЦК), 5 (водило) и ведомое звено x (БЦК). Этот планетарный ряд также относится ко второму классу и имеет однозвенцовые сателлиты. Конструктивный параметр ряда равен 2,25.

В состав третьего планетарного ряда (654) входят звенья 6 (МЦК), 5 (водило) и 4 (БЦК). Это планетарный ряд второго класса со сцепленными сателлитами. Конструктивный параметр ряда равен 1,2.

Таблица 4. Относительные угловые скорости сателлитов АКПП ZF 6HP

	1	2	3	4	5	6	3X1
Ряд 230	1,456	1,456	1,456	1,456	1,456	1,456	1,456
Ряд 45х	0,874	0,476	0,0	-0,46	0,552	1,600	-1,048
Ряд 654	0,874	0,476	0,0	-0,46	0,552	1,600	-1,048

Таблица 5. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП ZF 6HP

Передача	C	D	A	B	E
1	0,0	2,595	1,526	0,0	0,0
2	0,798	0,0	1,526	0,0	0,0
3	0,0	0,0	1,000	0,524	0,0
4	0,0	0,0	0,425	0,0	0,722
5	0,0	0,0	0,0	0,385	1,252
6	0,308	0,0	0,0	0,0	1,000
3X	0,0	4,961	0,0	1,526	0,0

Таблица 6. Максимальные моменты двигателя, с которыми могут работать АКПП ZF 8HP

Коробка передач	Максимальный момент двигателя, Н·м	
	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель
8HP30	300	300
8HP45	450	500
8HP70	700	700
8HP90	900	1 000

Таблица 7. Схема включения фрикционных элементов управления АКПП ZF 8HP

Передача	$i_{ок}$	A	B	E	C	D
1	4,7	X	X		X	
2	3,1	X	X	X		
3	2,1		X	X	X	
4	1,6		X	X		X
5	1,2		X		X	X
6	1,0			X	X	X
7	0,8	X			X	X
8	0,6	X		X		X
3X	-7,0	X	X			X

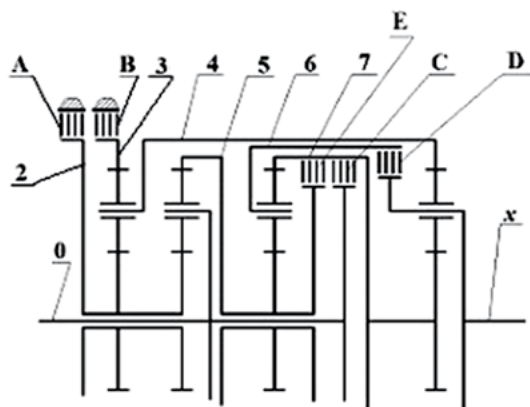


Рисунок 3. Кинематическая схема АКПП ZF 8HP

Два звена коробок передач ZF 6HP оборудованы дисковыми тормозами. Это звенья 4 (тормоз С) и 5 (тормоз В). Звено 2 коробки передач постоянно замкнуто на картер. Кроме того, в состав коробок передач входят три блокировочные муфты. Муфта А соединяет звенья 3 и 6, муфта В — звенья 3 и 4 и муфта Е — ведущее звено 0 и звено 5.

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

В табл. 2 представлены значения передаточных отношений коробки передач $i_{ок}$, знаменателя геометрической прогрессии q и коэффициента полезного действия зубчатых зацеплений η .

Таблица 8. Общие характеристики кинематической схемы АКПП ZF 8HP

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	3X
i_{0x}	4,70	3,133	2,104	1,667	1,198	1,00	0,892	0,67	-7,10
q	—	1,500	1,489	1,263	1,391	1,198	1,120	1,339	—
η	0,976	0,966	0,982	0,980	0,988	1,00	0,994	0,990	0,926

Таблица 9. Относительные частоты вращения звеньев АКПП ZF 8HP

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	1,00	1,80	2,371	1,00	0,0	0,0	0,0
Звено 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,73	2,25	0,0
Звено 4	0,0	0,0	0,333	0,600	0,790	1,00	1,153	1,500	0,0
Звено 5	1,500	1,500	1,00	0,600	0,315	1,00	1,500	1,500	1,500
Звено 6	1,120	1,500	1,00	0,600	0,835	1,00	1,120	1,500	-0,141
Звено 7	1,00	1,500	1,00	0,600	1,00	1,00	1,00	1,500	-0,662
Звено x	0,213	0,319	0,475	0,600	0,835	1,00	1,120	1,500	-0,141

Таблица 10. Относительные угловые скорости спутников АКПП ZF 8HP

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	3X
Ряд 243	0,0	0,0	-1,333	-2,400	-3,161	0,0	2,306	3,00	0,0
Ряд 205	2,00	2,00	0,0	-1,6	-2,741	0,0	2,00	2,00	2,00
Ряд 567	-0,353	0,0	0,0	0,0	0,484	0,0	-0,353	0,0	-1,526
Ряд 7x4	-0,583	-0,875	-0,389	0,0	-0,122	0,0	0,089	0,0	0,386

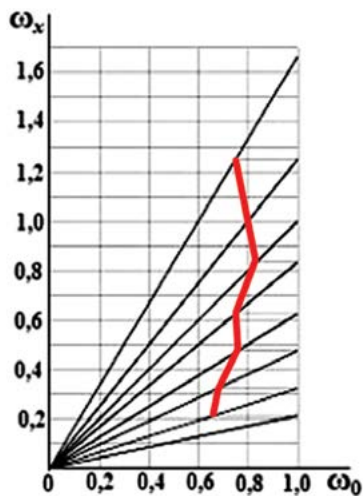


Рисунок 4. Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала при переключении передач АКПП ZF 8HP

Как видно из табл. 2, знаменатель геометрической прогрессии равномерно уменьшается, что является характерным для АКПП легковых автомобилей [5]. Следует отметить не очень высокие значения КПД зубчатых зацеплений этой коробки на первой и второй передачах.

Кинематический диапазон D коробок передач ZF 8HP имеет достаточно высокое значение и равен 6,13.

На рис. 2 показана зависимость изменения частоты вращения ведущего вала ω_0 при переключении передач.

В табл. 3 и 4 представлены результаты расчётов относительных частот вращения звеньев и относительных угловых скоростей спутников планетарных рядов на различных передачах.

Из табл. 3 видно, что максимальную угловую скорость, равную 2,20, имеет шестое звено на шестой передаче. Практически на всех передачах угловые скорости всех звеньев (за исключением звена 4) имеют положительные значения, не превышающие единицу (кроме звеньев 4 и x). 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 из табл. 4, относительная угловая скорость спутников планетарного ряда 230 постоянна на всех передачах. Это вполне объяснимо, поскольку МЦК этого ряда постоянно замкнуто на картер, а ведущее звено входит в этот ряд в качестве БЦК.

Следует отметить достаточно низкие значения относительных угловых скоростей спутников всех трёх планетарных рядов на всех передачах, что благоприятно сказывается на работоспособности подшипников спутников. Максимальную относительную угловую скорость имеют спутники второго планетарного ряда (45x) при движении на высшей, шестой передаче (1,6).

Таблица 11. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП ZF 8HP

Передача	A	B	E	C	D
1	1,233	2,467	0,0	1,0	0,0
2	0,489	1,644	0,667	0,0	0,0
3	0,0	1,104	1,104	0,657	0,0
4	0,0	0,667	0,571	0,0	0,396
5	0,0	0,198	0,0	0,703	0,821
6	0,0	0,0	0,241	1,0	1,0
7	0,108	0,0	0,0	0,677	0,892
8	0,333	0,0	0,506	0,0	0,667
3X	2,923	5,18	0,0	0,0	2,767

Таблица 12. Максимальные моменты двигателя, с которыми могут работать АКПП ZF 9HP

Коробка передач	Вес коробки передач	Максимальный момент двигателя, Н·м	
		Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель
9HP28	78	280	280
9HP48	86	480	450

Таблица 13. Схема включения элементов управления АКПП ZF 9HP

Передача	$i_{\text{ок}}$	A	B	E	C	D	F
1	4,7	X				X	X
2	2,84	X			X		X
3	1,90	X	X				X
4	1,38	X		X			X
5	1,00	X	X	X			
6	0,80	X		X	X		
7	0,70	X		X		X	
8	0,58			X	X	X	
9	0,48		X	X		X	
3X	-3,80		X			X	X

В табл. 5 приведены значения относительных моментов, воспринимаемых фрикционными элементами управления. Анализ этой таблицы свидетельствует о весьма малой нагруженности указанных элементов на всех передачах переднего хода.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОРОБКИ ПЕРЕМЕНЫ ПЕРЕДАЧ ZF 8HP

АКПП ZF 8HP также относится к четырёхступенным и реализует восемь передач переднего хода и одну передачу заднего хода. В настоящее время разработана серия из четырёх коробок, предназначенных для работы с двигателями, развивающими различные крутящие моменты (см. табл. 6).

В состав кинематической схемы (рис. 3) входят четыре планетарных ряда, два дисковых тормоза и три дисковых блокировочных муфты. Все четыре планетарных ряда относятся ко второму классу планетарных рядов и имеют одновенцовые сателлиты.

Первый планетарный ряд (243) составляют звенья 2 (МЦК), 4 (водило) и 3 (БЦК). Конструктивный параметр данного планетарного ряда равен 2,0.

В состав второго планетарного ряда (205) входят звено 2 (МЦК), ведущее звено 0 (водило) и звено 5 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 2,0.

Третий планетарный ряд (567) состоит из звеньев 5 (МЦК), 6 (БЦК) и 7 (водило) и имеет конструктивный параметр 3,15.

Четвёртый планетарный ряд (7x4) образуют звено 7 (МЦК), ведомое звено x (водило) и звено 4 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 3,70.

Два звена коробки передач 8HP оборудованы дисковыми тормозами. Это звенья 2 (тормоз А) и 3 (тормоз В). Кроме того, в состав коробки передач входят три блокировочные муфты. Муфта Е соединяет звенья 5 и 7, муфта С — звенья 0 и 7 и, наконец, муфта D — ведомое звено x и звено 6.

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

Таблица 14. Общие характеристики кинематической схемы АКПП ZF 9HP

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3X
i_{ox}	4,70	2,84	1,90	1,38	1,00	0,80	0,70	0,58	0,48	-3,80
q	—	1,65	1,49	1,38	1,38	1,239	1,15	1,20	1,21	—
η	0,966	0,974	0,984	0,992	1,000	0,986	0,980	0,978	0,956	0,896

Таблица 15. Относительные угловые скорости звеньев АКПП ZF 9HP

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3X
Звено 0	1,00	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	1,00	1,868	2,564	3,630	4,960	0,0
Звено 3	0,294	0,485	0,725	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,37
Звено 4	0,405	0,670	1,00	1,380	1,00	0,445	0,0	0,0	0,0	0,0
Звено 5	0,0	0,445	1,00	1,639	1,00	0,445	0,0	0,0	0,0	0,0
Звено 6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,25	-1,25
Звено 7	-0,80	0,0	1,00	2,152	1,00	0,0	-0,80	0,0	1,00	1,00
Звено x	0,213	0,352	0,525	0,725	1,00	1,239	1,431	1,725	2,091	-0,27

Таблица 16. Относительные угловые скорости спутников АКПП ZF 9HP

Передача	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3X
Ряд 2x3	0,26	0,43	0,64	0,89	0,0	-0,77	-1,39	-2,34	-3,52	-0,33
Ряд 234	0,36	0,60	0,89	1,23	0,0	-1,07	-1,92	-3,23	-4,86	-0,45
Ряд 645	-2,55	-1,41	0,0	1,63	0,0	-1,43	-2,55	0,0	3,18	3,18
Ряд 746	2,34	1,30	0,0	-1,50	0,0	1,30	2,34	0,0	-2,92	-2,92

В табл. 8 показаны значения передаточных отношений коробки передач i_{ox} , знаменателя геометрической прогрессии q и КПД зубчатых зацеплений η .

На всех передачах переднего хода КПД зубчатых зацеплений имеет достаточно высокое значение.

Следует отметить, что в рассматриваемой кинематической схеме нарушен принцип плавного уменьшения значения знаменателя геометрической прогрессии q . Это происходит на пятой и восьмой передачах.

Диапазон коробок передач ZF 8HP D равен 7,01.

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 спутников планетарных рядов на различных передачах.

Из табл. 9 видно, что максимальную частоту вращения, равную 2,371, имеет второе звено на пятой передаче. Практически на всех передачах относительные частоты вращения всех звеньев (кроме передачи заднего хода) имеют положительные значения. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что относительные частоты вращения двух звеньев будут иметь небольшие значения, что должно благоприятно сказаться на работе упорных игольчатых подшипников.

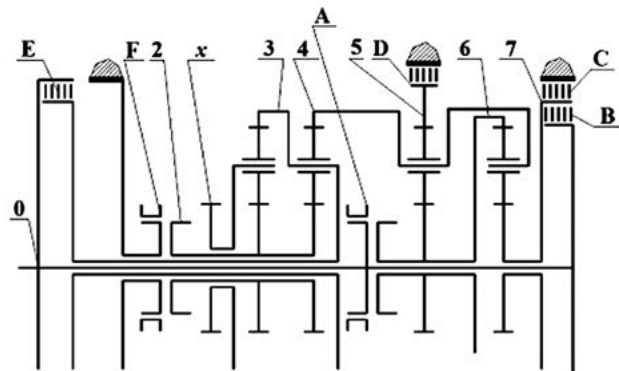


Рисунок 5. Упрощенная кинематическая схема АКПП ZF 9HP

Максимальную относительную угловую скорость имеют спутники первого планетарного ряда (243) при движении на пятой передаче (3,161).

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

АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОРОБКИ ПЕРЕМЕНЫ ПЕРЕДАЧ ZF 9HP

Автоматическая коробка перемены передач ZF 9HP так же, как и две предыдущие, относится к четырёхступенным и реализует девять передач переднего

Таблица 17. Относительные моменты, воспринимаемые фрикционными элементами управления АКПП ZF 9HP

Передача	A	B	E	C	D	F
1	1,00	0,0	0,0	0,0	1,467	2,233
2	1,00	0,0	0,0	0,493	0,0	1,351
3	0,670	0,330	0,0	0,0	0,0	0,905
4	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,380
5	0,485	0,239	1,725	0,0	0,0	0,0
6	0,392	0,0	1,392	0,193	0,0	0,0
7	0,205	0,0	1,205	0,0	0,301	0,0
8	0,0	0,0	1,00	0,212	0,633	0,0
9	0,0	0,175	0,825	0,0	0,522	0,0
ЗХ	0,0	1,00	0,0	0,0	2,978	1,790

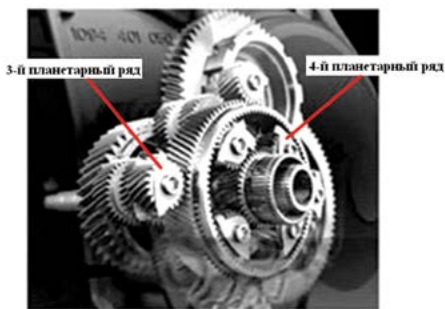
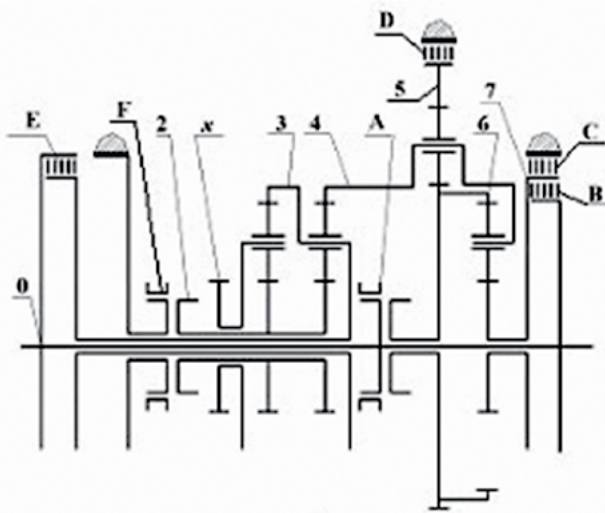


Рисунок 6.

Реальная кинематическая схема АКПП ZF 9HP

хода и одну — заднего. Эта коробка предназначена для переднеприводных автомобилей с поперечным расположением двигателя. В настоящее время разработаны два типоразмера коробок для работы с двигателями, развивающими различные крутящие моменты (см. табл. 12).

В состав кинематической схемы (рис. 5) входят четыре планетарных ряда, два дисковых тормоза и три дисковых блокировочных муфты. Все четыре планетарных ряда относятся ко второму классу планетарных рядов и имеют одновенцовые сателлиты.

Первый планетарный ряд (2х3) составляют звено 2 (МЦК), ведомое звено x (водило) и звено 3 (БЦК).

Конструктивный параметр данного планетарного ряда равен 2,63.

Второй планетарный ряд (234) состоит из звеньев 2 (МЦК), 3 (водило) и 4 (БЦК) и имеет конструктивный параметр, равный 2,63.

В состав третьего планетарного ряда (645) входят звенья 6 (МЦК), 4 (водило) и 5 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 3,39.

Четвёртый планетарный ряд (746) составляют звенья 7 (МЦК), 4 (водило) и 6 (БЦК). Конструктивный параметр ряда равен 2,03.

Три звена коробки передач 9HP оборудованы тормозами. Звено 2 с помощью зубчатой муфты может быть замкнуто на картер (тормоз F), что является весьма неожиданным и новаторским решением для АКПП. Звено 7 оборудовано дисковым тормозом (тормоз C). Также дисковым тормозом оснащено пятое звено (тормоз D).

Кроме того, коробка передач содержит три блокировочные муфты. Дисковая муфта E соединяет ведущее звено 0 со звеном 3, дисковая муфта D — ведомое звено x и звено 6, а с помощью зубчатой муфты A соединяются звенья 0 и 6. Использование зубчатой муфты в качестве блокировочной также является весьма неожиданным и оригинальным решением.

Ещё одно оригинальное решение было использовано в конструкции АКПП ZF 9HP. Оно заключается в том, что третий планетарный ряд 645 встроены внутри четвёртого планетарного ряда 746 (рис. 6). Это стало возможно в результате того, что МЦК третьего ряда (звено 6) является БЦК четвёртого ряда. Такое решение позволило сократить осевой размер коробки передач до 367 мм.

Использование в качестве тормоза F и блокировочной муфты A зубчатых муфт значительно снижает потери в элементах управления.

Схема включения элементов управления и значения передаточных отношений, получаемых при этом, представлены в табл. 13.

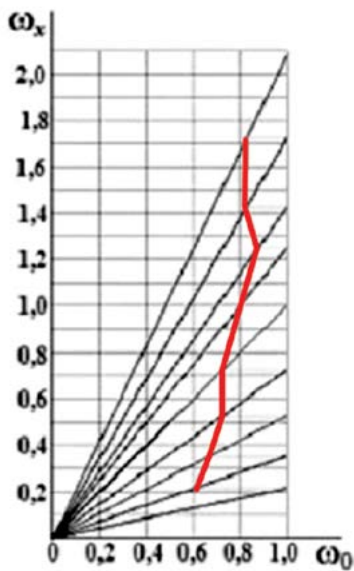


Рисунок 7. Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала при переключении передач АКПП ZF 9HP

В табл. 14 показаны значения передаточных отношений коробки передач $i_{ок}$, знаменателя геометрической прогрессии q и КПД зубчатых зацеплений η .

Диапазон коробок передач ZF 9HP D равен 9,826.

Зависимость изменения частоты вращения ведущего вала коробки передач при переключении представлена на рис. 7.

В табл. 15 и 16 представлены значения относительных частот вращения звеньев и относительных угловых скоростей сателлитов планетарных рядов на различных передачах.

Максимальную относительную частоту вращения в коробках передач ZF 9HP имеет звено 2 на седьмой, восьмой и девятой передачах, что отрицательно может сказаться на работоспособности упорных игольчатых подшипников.

Настораживает максимальная относительная угловая скорость сателлитов второго планетарного ряда (234) при движении на девятой передаче (4,86).

Так, при частоте вращения ведущего вала коробки передач 6 000 об/мин относительная угловая скорость сателлитов на девятой передаче планетарных рядов 234, 645 и 746 составит 29 160, 19 080 и 17 520 об/мин соответственно. Такие большие значения относительной угловой скорости сателлитов должны неблагоприятно сказаться на работоспособности подшипников сателлитов этих планетарных рядов.

В табл. 17 приведены значения относительных моментов, воспринимаемых фрикционными элементами управления на различных передачах.

Следует отметить, что относительные моменты во фрикционных элементах управления как на первой передаче, так и на передаче заднего хода имеют весьма приемлемые значения, что вполне объясня-

ется сравнительно небольшими значениями передаточных отношений коробки на этих передачах.

В заключение можно добавить, что использование планетарных механизмов позволило специалистам фирмы ZF спроектировать восьми- и девятиступенчатые АКПП, по своим габаритно-массовым показателям не превосходящие пятиступенчатые автоматические коробки передач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 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.
2. Красеньков В. И., Вашец А. Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. — М.: Машиностроение, 1986. — 273 с.
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 (дата обращения: 24.01.2014).
4. 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 (дата обращения: 24.01.2014).