

Применение опережающих технических решений при создании механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением

02, февраль 2011

авторы: Недялков А. П., Блохин А. Н.

УДК 129.113

ГНЦ РФ - ФГУП «НАМИ», НГТУ

Практика последних лет таких автозаводов, как Минский и КамАЗ, показывает необходимость закупки зарубежных агрегатов, прежде всего коробок передач фирмы «Цанрад Фабрик», так как сколько-нибудь конкурентных агрегатов отечественная промышленность не выпускает.

Здесь необходимо особо отметить то, что у нас оцениваются параметры разрабатываемой перспективной коробки передач с уже выпускаемой серийно в течение нескольких лет зарубежной продукцией, что не вполне корректно, так как вновь разрабатываемая зарубежная продукция будет иметь более высокие выходные параметры.

В соответствии с вышеизложенным *вновь разрабатываемые образцы силовых агрегатов должны иметь определенные опережающие технические решения, которые позволяют создать к моменту их широкого промышленного производства действительно конкурентоспособную продукцию.*

Если мы не хотим и далее плестись в хвосте технического прогресса, намерены обеспечить в перспективе надлежащий передовой технический уровень и, следовательно, **конкурентоспособность**, необходимо провести четкую разграниченную линию между выпускаемой продукцией, на которую уже имеются необходимые производственные мощности, и перспективной продукцией, которая в полной степени обязана отвечать повышенным требованиям перспективы, при этом перспективные агрегаты должны в полной степени удовлетворять требованиям автозаводов, чтобы у них не возникала вновь потребность в закупке зарубежных агрегатов.

В этом плане, видимо, имеет смысл создать новый завод по производству и новые производственные мощности по производству силовых агрегатов, которые не будут жестко

привязаны к уже выпускаемым узлам и элементам коробок передач, что не позволяет создать принципиально новую конкурентоспособную продукцию. Весьма показательным является то, что *отечественному производителю - Ярославскому моторному заводу потребовалось более 30 лет, чтобы обеспечить перспективным разработкам коробок передач переход на муфтовые синхронизаторы, без применения которых не возможно создание сколько-нибудь современных агрегатов, не говоря уже о перспективных разработках. Привязка к действующему производству часто играет принципиальную роль в торможении создания конкурентоспособной продукции.*

При разработке новых образцов агрегатов, в том числе механических коробок передач, и планировании их серийного производства необходимо не забывать, что в настоящее время просто наличием того или иного вида продукции потребителя не удивишь. *Ныне для успешной реализации произведенной продукции на внутреннем или внешнем рынках, что практически уже носит равноценный характер, необходимо иметь набор выходных параметров, определяющих технический уровень изделий, хотя бы часть из которых должна быть выше предлагаемых на рынке аналогов продукции фирм конкурентов.*

Для такого агрегата, как механическая коробка передач для автобусов, грузовых автомобилей и автопоездов, *определяющими качествами являются: высокая несущая способность при малых массовых и габаритных параметрах в сочетании с высоким ресурсом агрегата, низкая шумность, малые внутренние потери, удобство и легкость управления.* При этом нужно особо отметить, что в настоящее время потребитель согласен даже существенно переплатить за определенные позитивные качества, будь-то высокий ресурс и надежность работы агрегата, существенно меньшая шумность или легкость управления и т.д.

Необходимо не забывать, что *организация серийного производства нового агрегата это - затраченные средства, а успешно торговать можно только агрегатом с существенными преимуществами, которые можно и необходимо рекламировать.*

Таким образом, прежде чем ставить на производство какой-либо агрегат, необходимо точно знать, что вы будете рекламировать. Аргумент, который действовал в прошлые годы - зато низкая цена агрегата - уже перестает быть определяющим и решающим фактором при выборе продукции потребителем. Теперь приоритет имеют качественные показатели продукции и зачастую аргумент *низкие цены* остается в проигрыше. Доказательство вышеуказанного мы наблюдаем уже не первый день - автомобильные заводы, например МАЗ, КамАЗ, зачастую приобретают агрегаты зарубежных фирм, а частник приобретает сплошь и рядом даже подержанные автомобили зарубежных производителей, что определяется их более высоким

качеством. Необходимо обратить внимание на еще один весьма существенный фактор: *при разработке и постановке на производство нового агрегата необходимо использовать лишь те узлы и элементы конструкции из серийно выпускаемого или снимаемого с производства агрегата и то технологическое оборудование, которые не только не снижают выходные параметры агрегата, но способствуют повышению его конкурентоспособности.* В противном случае имеющиеся производственные мощности будут только тормозить создание агрегата с перспективными выходными параметрами и фактически продлевать жизнь устаревшего агрегата, что экономически не целесообразно. *Ведущие зарубежные фирмы в области автомобильных трансмиссий ведут непрерывную модернизацию выпускаемой продукции и одновременно, в интервале 10-15 лет, выпускают принципиально новую конструкцию коробки передач с новой идеологией и с целью более полного удовлетворения потребителя какие-либо новые размерности перспективных агрегатов; при этом всегда присутствует ряд рекламируемых параметров или новых качеств, которые превосходят соответствующие показатели ранее выпускаемых аналогов.*

В настоящее время таким наиболее рекламируемым качеством является автоматизация управления силовым агрегатом, включающая в себя автоматическое управление коробкой передач, сцеплением, а в последнее время и элементами топливной аппаратуры двигателя с широким применением электроники.

Необходимо заметить, что бесшумность работы агрегата также является неотъемлемым требованием сегодняшнего потребителя, чему необходимо уделять особое внимание как при модернизации выпускаемых агрегатов, так и, особенно, при создании перспективных разработок в области трансмиссий.

Основными концептуальными отличительными особенностями перспективного развития механических коробок передач являются [1]:

1. Широкое применение 6-ступенчатых коробок передач взамен 5 ступенчатых при одновременном увеличении диапазона передаточных чисел на 25-30%, что позволит повысить тяговые и топливно-экономические показатели и в большом количестве случаев исключить необходимость применения демультипликатора в раздаточной коробке для полноприводных автомобилей гражданского назначения, что существенно упростит конструкцию трансмиссии автомобиля и уменьшит внутренние потери.
2. Применение малогабаритных синхронизаторов муфтового типа ($b = 38 - 45$ мм), что в совокупности с примененной кинематической схемой позволяет 6-ти ступенчатые коробки выполнить в осевых размерах 5 ступенчатых, что при установке 6-ти

ступенчатой коробки передач взамен 5 ступенчатой не потребует увеличения номенклатуры карданных валов.

3. Внутренние потери 6 ступенчатых коробок передач не должны превышать внутренние потери 5 ступенчатых коробок. В настоящее время имеется в автомобилестроении ярко выраженная тенденция к увеличению выпуска полноприводных автомобилей, что обусловлено рядом объективных факторов и, прежде всего, климатическими условиями. Применение же полноприводных автомобилей даже обычного гражданского назначения требует увеличенного диапазона трансмиссии.

Необходимо особо обратить внимание на то, что при разработке коробок передач с увеличенным числом передач с целью увеличения диапазона передаточных чисел или плотности ряда нельзя пренебрежительно относиться к конструктивному решению тех или иных элементов, влияющих на внутренние потери в коробке передач, так как прогнозируемые те или иные преимущества, обусловленные кинематическими изменениями, могут в значительной степени нивелироваться повышенными внутренними потерями в коробке передач. Так, например, применение постоянного зацепления в шестернях передач заднего хода увеличивает внутренние потери в коробке передач за счет увеличенного барботажа смазки от промежуточных шестерен, а также противовращения ведомой шестерни на вторичном валу на 15-20%. Кроме этого, увеличиваются осевые габариты на 25-30 мм и, соответственно, масса коробки передач, а также подшипниковый узел противовращения ведомой шестерни, как показала практика эксплуатационных испытаний коробок передач S6-90, может лимитировать ресурс коробок передач.

Следовательно, особое внимание необходимо *уделять снижению внутренних потерь в коробке передач*, что в значительной степени способствует уменьшению расхода топлива транспортного средства.

При этом удивительным является то, что если при разработке двигателей ведется огромный объем работ за снижение каждого грамма топлива на кВт в час и этот показатель является рекламируемым, то для коробок передач какие-либо регламентируемые показатели по

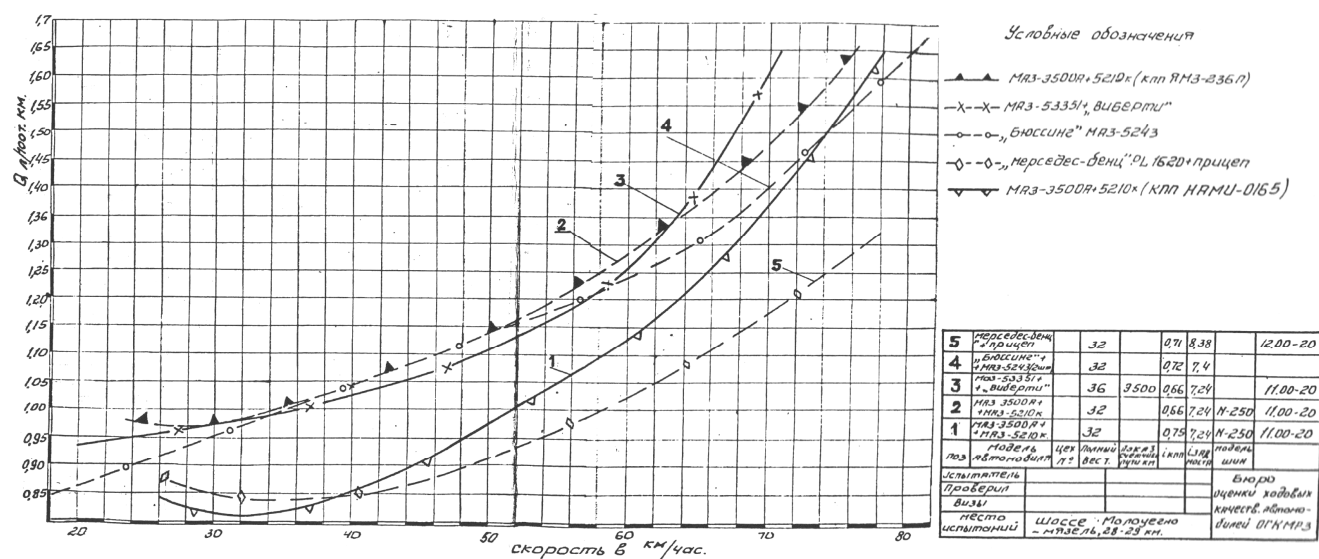
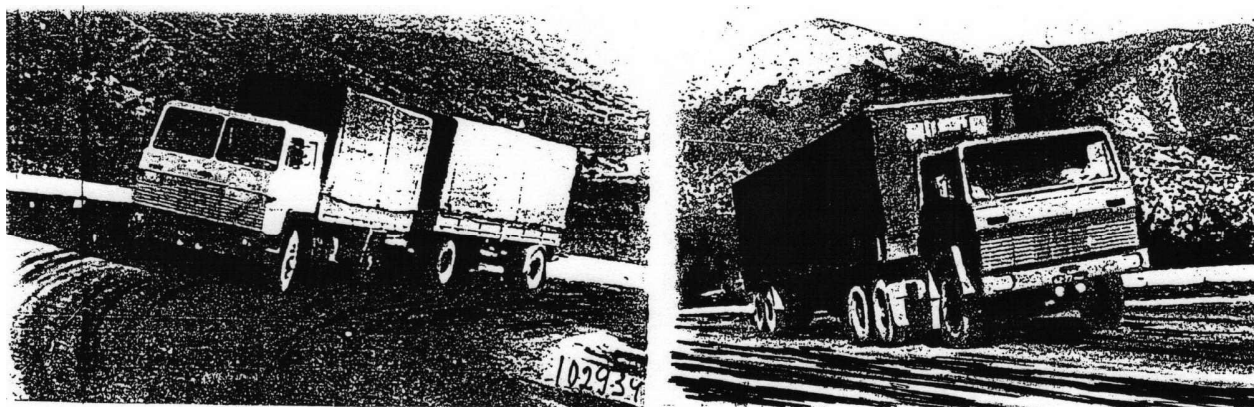


Рисунок 1. – Удельная дорожная экономическая характеристика (на 1т полного веса) автопоезда МАЗ-Э500А-5210К с коробками передач ЯМЗ-236П и НАМИ-0165 в сравнении с другими автопоездами

внутренним потерям отсутствуют.



Автопоезд МАЗ-Э500А-5210К.

Автопоезд МАЗ-Э515Б-941П.

Рисунок 2. – Объекты исследования

С целью наглядности влияния конструктивных особенностей коробок передач на расход топлива автопоездов Минского автомобильного завода с разными коробками передач - 8 ступенчатой НАМИ-0165, ЯМЗ-236С и ЯМЗ-238П обратимся к результатам сравнительных испытаний (рисунки 1-3, таблицы 1-2).

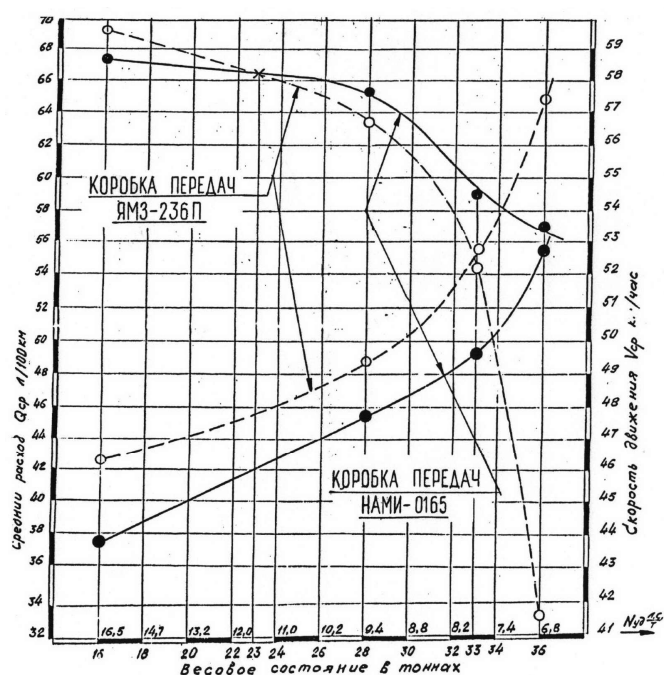
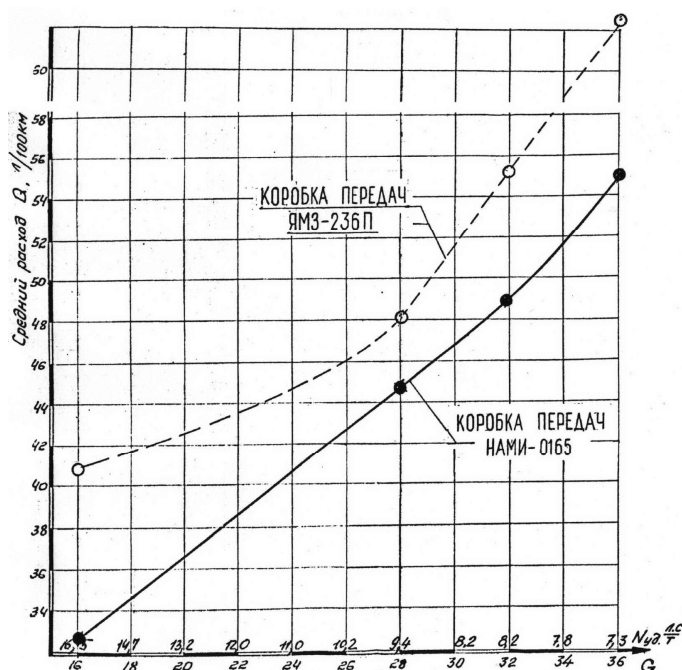


Рисунок 3. – Изменения средних скоростей движения (км/ч) и среднего расхода топлива (л/100км) автопоезда МАЗ-Э500А-2-5210К с коробками передач ЯМЗ-236П и НАМИ-0165 в зависимости от полного веса по результатам контрольных заездов Минск-Толочин-Минск, Минск- Вильнюс, Минск- Москва

Разница в расходе топлива при движении по шоссе составила от 4 до 6 л/100км и до 25 л/100км (99,6 против 125,6л/100км) при движении в гористой местности на территории Крыма в пользу коробки передач НАМИ-0165. Такая существенная разница в расходе топлива в значительной степени определяется меньшими внутренними потерями в указанной коробке передач, что четко выражено в замерах расхода топлива на прямой передаче, когда исключаются кинематические параметры коробки передач и их влияние на работу двигателя.

Таблица 1. – Средние расходы топлива (л/100км) автопоезда ЯМЗ-Э500-5210К по результатам дорожно-экономических характеристик

Модель коробки передач			НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П
Скорость, км/ч			30		40		50		60		70		75	
Повышающая передача	Полный вес автопоезда (автомобиль), т	36	31,6	37,4	33	39,5	26	42,3	41,4	47,3	51	54,2	60,0	59,0
		32	26	31	27,5	33,2	31,3	36,5	36,4	41,2	44,3	47,5	50,5	51,5
		28	22,2	27,2	24,5	28,5	28,5	33,2	33,4	38,5	41,7	44,6	47,0	43,2
		16	21,9	22,2	23,2	22,7	25,4	24,2	28,2	32,5	32,5	33	36,0	36,8
Прямая передача	Полный вес автопоезда (автомобиль), т	36	34,2	40,5	37,1	41,2	42,6	47,3						
		32	32,7	34,3	35,6	37,1	40,7	41,4						
		28	31,5	33	33,8	35,5	38,6	39,6	44,3					
		16	26,5	26,2	28,1	28	32,5	32,8	40,0	40,5				

Таблица 2. – Средние расходы топлива(л/100км) автопоезда ЯМЗ-Э515Б-941П по результатам дорожно-экономических характеристик

Модель коробки передач			НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П	НАМИ-0165	ЯМЗ-236П
Скорость, км/ч			30		40		50		60		70		75	
Повышающая передача	Полный вес автопоезда (автомобиль), т	41	39,1	40,6	41,0	43,3	45,0	48,0	51,1	54,8	59,3	62,9	69,4	73,0
		38	37,8	39,2	38,9	41,8	42,8	46,3	48,9	52,5	56,5	60,4	60,4	70,0
		36	36,0	37,0	36,6	39,2	39,8	43,3	45,5	49,2	53,0	57,2	57,2	66,6
Прямая передача		41	45,0	44,8	46,8	47,8	52,6	54,8	63,6	67,6				
		38	41,8	43,4	43,6	47,0	48,7	53,0	59,6	64,8				
		36	40,6	42,2	45,4	46,7	50,8	57,8	61,4					

Необходимо четко уяснить, что увеличенное число передач с меньшими интервалами ступеней трансмиссии еще ни в коей степени не гарантирует уменьшения расхода топлива. Только в сочетании с низкими внутренними потерями, которые зависят от весьма большого числа конструкторских отличительных особенностей, можно рассчитывать на снижение расхода топлива за счет применения современной коробки передач. В таблице 3 представлены основные параметры перспективных коробок передач, разработанных в НАМИ, а на рисунках 4-5 в таблице 4 в качестве примера представлены кинематическая схема, продольный разрез коробки передач ТМ 16-2000, а также результаты геометрических и прочностных расчетов.

Весьма показательным фактом существенного различия основных параметров коробок передач можно проследить при сравнении 3-й и 4-й размерностей коробок (М6-1100 и ТМ8-1300), выполненных по разным кинематическим схемам, но при одинаковом техническом уровне конструирования одинаковом осевом размере синхронизаторов 45 мм и одинаковом осевом габарите коробок передач 460 мм.

Таблица 3. – Основные параметры перспективных коробок передач

Модификации	Обозначение коробки передач	Входной момент, нм	Число передач	Диапазон	Осовой габарит по торцам картера, мм	Межцентровое расстояние, мм	Масса ¹ , кг
1	М6-300	360	6	9,25	295	100	51,5
2	М6-700	750	6	9,10	380	135	120
3	М6-1100	1300	6	9,10	460	165	205
4	ТМ8-1300	1650	8	12,38	460	135	160
5	ТМ16-2000	2200	16	17,04	570	170	320
5.1	ТМ8-2000	2600	8	13,77	485	170	280
5.2.	ТМ10-2000	2700	10	14,07	570	170	300
5.3	ТМ12-1800	2200	12	15,05	500	170	290
5.4	ТМ16-2700	2700	16	17,43	615	170	335

¹Масса коробки передач без картера сцепления

Типоразмеры 1,4,5.1,5.2,3 имеют модификации с высшей прямой передачей

Коробка передач ТМ8-1300 по сравнению с коробкой передач М6-1100 имеет следующие преимущества: 8 передач вместо 6; межцентровое расстояние уменьшается со 165 до 135 мм; величина входного крутящего момента возрастает с 1300 до 1650 Нм; диапазон передаточных чисел увеличивается с 9,1 до 12,38; масса коробки передач уменьшается с 205 до 160 кг; обеспечивается модификация коробки передач с высшей прямой передачей с входным крутящим моментом 1300 Нм и диапазоном передаточных чисел 12,38, что позволит иметь несколько меньшие внутренние потери и шумность коробки передач, что будет оптимальным при использовании данной модификации на автобусах; в силу меньших диаметральных размеров деталей обеспечится существенно меньшая поводка деталей при термообработке; из-за большого ряда конструктивных и кинематических отличительных особенностей; меньшие линейные скорости, меньше шестерен и т.д., коробка передач ТМ8-1300 будет иметь существенно меньшие внутренние потери; за счет высоких степеней перекрытия зубьев шестерен будет обеспечена бесшумность работы коробки передач.

На данном примере видно, какие значительные преимущества приобретает перспективный агрегат, когда в нем реализуются опережающие, но экспериментально апробированные кинематические схемы и технические решения при оптимальном их конструктивном выполнении.

Необходимо особо обратить внимание на то, что оговоренные преимущества коробки передач ТМ8-1300 получены в сравнении с коробкой передач М6-1100, которая в настоящее время по своим параметрам выше мировых аналогов.

4. Малые осевые габариты и массовые параметры коробок передач даже при их относительно завышенной несущей способности позволяют использовать агрегат при относительно небольших крутящих моментах двигателя. В конечном итоге низшая граница применения коробки передач определяется его габаритными и весовыми параметрами. Малые весовые показатели коробок передач позволяют иметь меньшее число их типоразмеров и, соответственно, более массовый выпуск, что будет способствовать снижению стоимости агрегата.

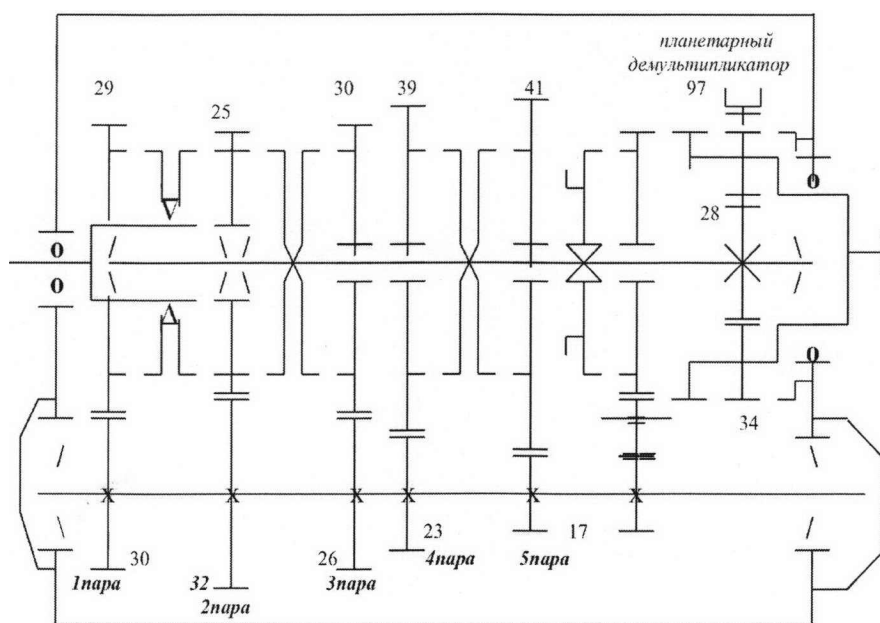


Рисунок 4. – Кинематическая схема 16 ступенчатой коробки передач ТМ16-2000

5. Для всего типоразмерного ряда коробок передач от М6-300 до ТМ16-2700 предусматриваются следующие виды управления:

1. Механическое или пневмомеханическое;
2. Электропневматическое:
 - 2.1. Преселективное;
 - 2.2. Командное (полуавтоматическое);
 - 2.3. Автоматическое.

Для всех шести модификаций коробок передач серии ТМ предусмотрена единая конструкция как пневмомеханического, так и электропневматического управления.

Для управления коробками передач всего семейства требуются два механизма управления:

- Четырех ходовой для управления 6 ступенчатыми коробками передач (рисунок 6);
- трех ходовой для управления 8-, 10-, 12- и 16- ступенчатыми коробками передач (рисунок 7).

Одновременно для управления всем семейством коробок передач требуются два унифицированных контроллера (рисунок 8). Управление делителем в 12 и 16 ступенчатых коробках передач производится автоматически при работе как на режиме автоматического, так и командного управления.

Gear	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	R2	R1	Range
Gear ratio	0.81	1.0	1.09	1.175	1.27	1.37	1.48	1.6	1.73	1.88	2.05	2.24	2.45	2.7	3.0	3.6	4.5	5.4	7.04

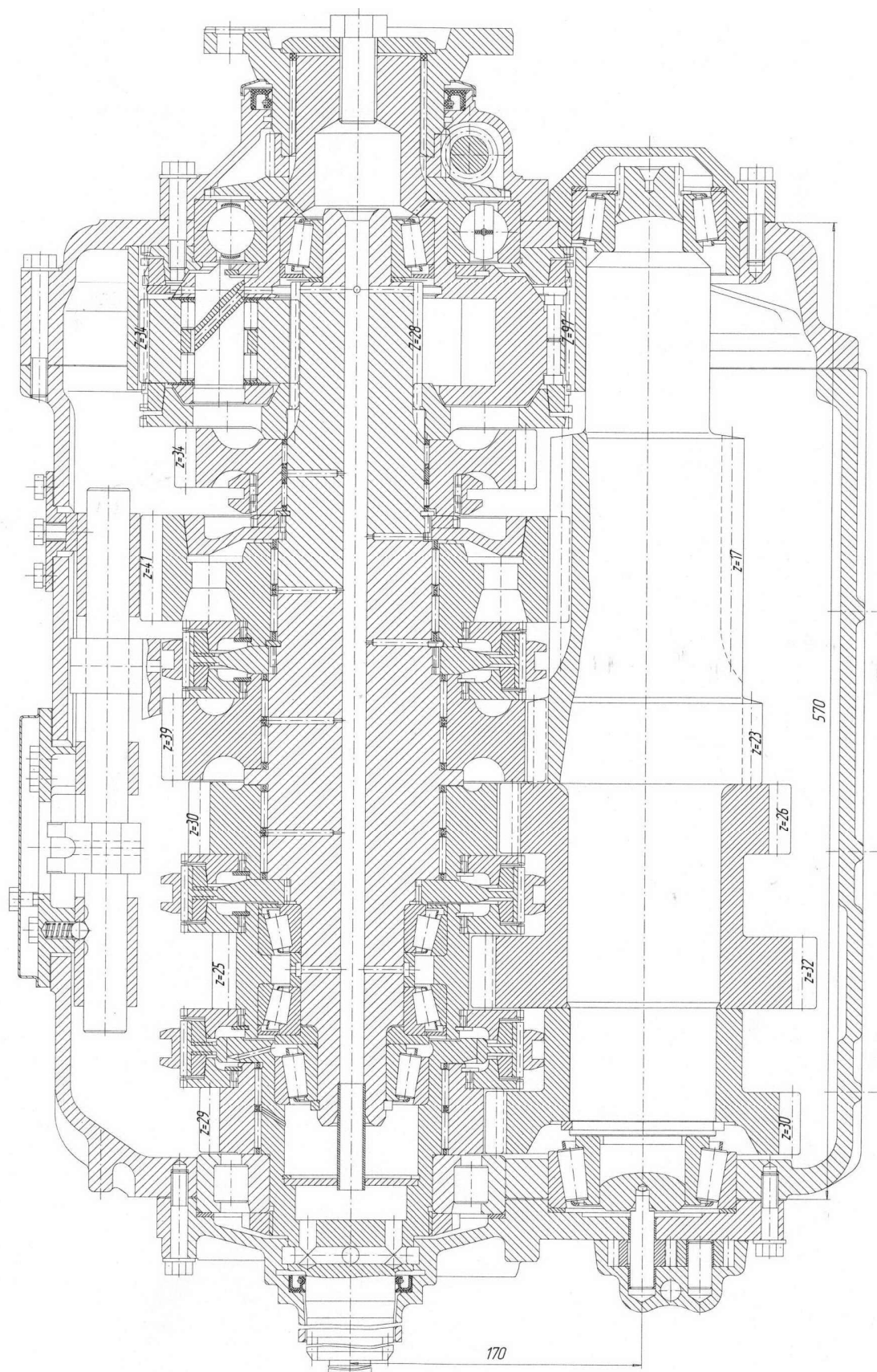


Рисунок 5. – Продольный разрез коробки передач ТМ16-2000

Таблица 4. – Сводная таблица геометрических и прочностных параметров шестерен основного редуктора и демультипликатора коробки передач ТМ 16-2000

Наименование пары	Число зубьев Z1 Z2	Переда- число U	Мо- дуль m мм	Угол на- кло- на β°	Смеще- ние ис- ходного контура X	Ширин зубча- того венца B мм	Коэф. высоты головки зуба H _n [*]	Наруж- ный диа- метр D _a мм	Диаметр впадин D _f мм	Ширина ленточки S _n мм	Степень перекрытия E _s		В режиме работы 1-й пары привода				В режиме работы 2-й пары привода							
													Момент М кгм	Напряжения		Осевая сила А кг	Момент М кгм	Напряжения		Осевая сила А кг				
														изгиб σ кг/мм ²	контакт Р кг/мм ²			изгиб σ кг/мм ²	контакт Р кг/мм ²					
																					E _β	E _α		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
ОСНОВНОЙ РЕДУКТОР																								
											МЕЖОСЕВОЕ РАСТОЯНИЕ A _w = 170 мм.													
1 пара	30 29	1.034	5.25	23	0.219 0.125	36.75 38.3	1,25	186.4 179.7	157.6 151	2.398 2.515	2.579 0.86 + 1.71		220	22 21,6	117,8	1117,6	-	-	-	-				
2 пара	25 32	0.78 1.28	5.5	18	0.435 0.6	44.5 41.5	1,25	162,1 204.4	132,9 175.2	2,253 2,26	2.35 0.74 + 1.6		223,3	15 15,2	107,3	759	220	19 19,3	120,6	959				
3 пара	30 26	1.15	5.75	15.25	0.177 0.4	42.5 41	1,25	194.8 173.5	163.6 142.3	2.69 2.01	2.33 0.597 + 1.7		223,3	19 18.4	116,5	770	277	23,5 22,8	129.4	953,7				
4 пара	39 23	1.695	5.25	12	0.439 0.3	47.5 51	1,25	226.5 139.2	198.2 110.8	2.34 1.938	2.35 0.6 + 1.75		223,3	21 21,3	123,9	751,3	277	25,3 26,3	137,4	930,6				
5 пара	41 17	2.41	5.75	10	-0.08 0.2	62 76	1,25	252.8 115.9	221.2 84.3	3.11 1.5	2.45 0.6 + 1.86		223,3	22 18.7	128,3	788,7	277	27,25 23,1	142,7	976,8				
Задний ход Межосевое расстояние A _{w1} =115,75 мм. A _{w2} =164,75 мм.																								
6 пара	17 22	1.294	5.75	10	0.2 0.149	47 40	1,25	115.9 144.3	84.3 112.9	1.50 2.20	2.095 0.38+ 1.72		223,3	31,3 36	192	778,8	277	39 44,5	214.3	964,7				
7 пара	22 34	1.545	5.75	10	0.149 0.078	40 35	1,25	144.3 213.7	112.9 182.1	2.20 2.76	2.18 0.31 + 1.87		282,7	35,2 39	169	770	351	44.8 48,3	213.4	953,7				
Планетарный демультипликатор																								
Число сателлитов p=5, передаточное число U=4.46, межосевое расстояние A _w =80 мм., B _{w1} =48,6 мм., B _{w2} =48,6мм.																								
Корона Сател- лит Солнце	97	2.853	2.5	0	1.178	60	1	243.76	254.25	2.3	1.48	526,5		21	88,2	-	654,2	26,2	98,6	-				
	34				0.65	48.6		93.0	81.63	1.52				37,4 / 43				46,2 / 53						
	28	1.214			0.46	59		76.75	66	1.77	1.42			38,5	171,5			48,4	191,3					
	Передаточные числа																							
Передача					16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	zx1	zx2	Диапазон передаточных чисел	
Передаточное число					0.81	1	1.19	1.48	1.75	2.17	2.49	3.09	3.6	4.46	5.32	6.59	7.82	9.68	11.13	13.77	11.42	9.23	17.04	

На режиме трогания автомобиля и маневрирования используется педаль сцепления. На режиме движения с переключением передач управление сцеплением производится автоматически.

Таким образом, в соответствии с ярко выраженной тенденцией, наблюдаемой в мире по применению автоматизированных систем управления механическими коробками передач, НАМИ в соответствии с требованиями перспективы предусматривает применение автоматизированных систем управления для всей гаммы перспективных механических коробок передач.

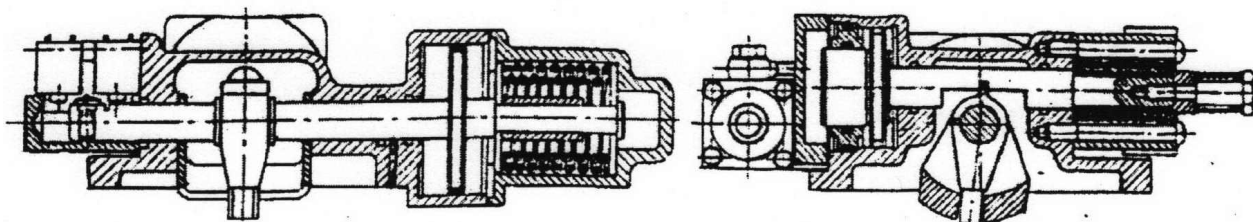


Рисунок 6. – Четырех ходовой механизм электропневматического управления переключением 6 ступенчатыми коробками

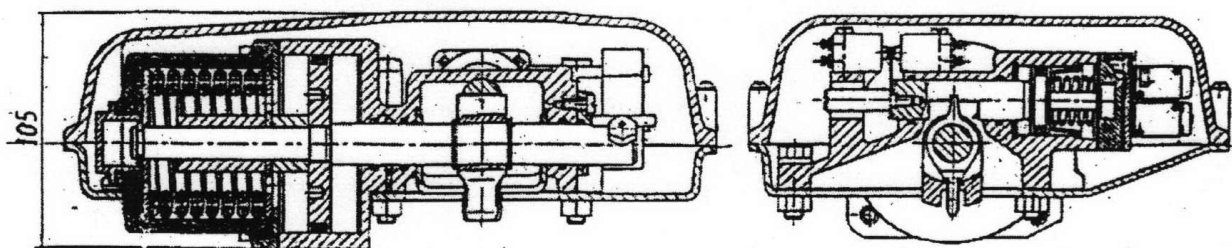


Рисунок 7. - Трех ходовой механизм электрического управления переключения передач

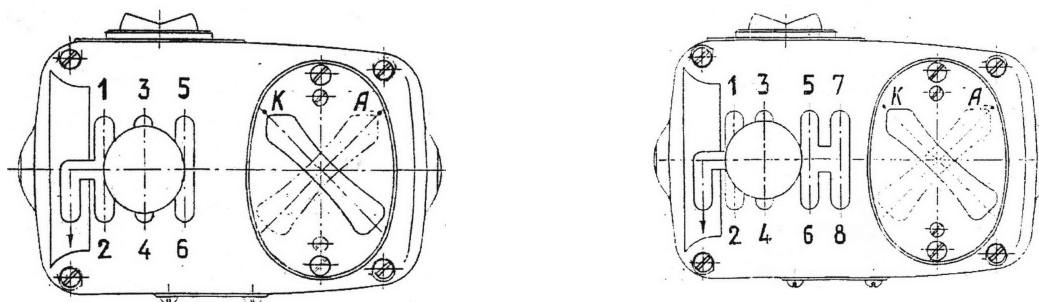


Рисунок 8. - Контроллер полуавтоматического и автоматического управления ступенчатыми коробками передач **а) 6 и 8 ступенчатыми; б) 8 и 16 ступенчатыми**

Рассмотрим основные отличительные особенности и преимущества типоразмерного ряда перспективных механических коробок передач.

Центральным автомобильным институтом НАМИ была поставлена задача на базе имеющегося отечественного 45-летнего опыта, а также достижений ведущих зарубежных фирм в области трансмиссий, таких как, "Цанрад Фабрик", "Итон", "Мерседес Бенц" и др., разработать

типоразмерный ряд перспективных механических коробок передач для автомобилей, тяжелых автопоездов и самосвалов под двигатели мощностью от 74 до 518 кВт (от 100 до 700 л.с.) в диапазоне крутящих моментов от 200 до 2700 Нм.

Создаваемые перспективные коробки передач должны были иметь максимально простые конструкторские решения, апробированные испытаниями и превосходящие по выходным параметрам лучшие известные зарубежные аналоги ведущих в области трансмиссий зарубежных фирм.

В результате исключительно большого объема многолетних конструкторских, научно-исследовательских и экспериментальных работ удалось выполнить поставленную задачу, в результате чего разработанный типоразмерный ряд включает в себя всего пять базовых типоразмеров коробок передач, три из которых являются 6 ступенчатыми и две - многоступенчатыми, соответственно 8 и 16 ступенчатыми коробками передач.

Позитивными особенностями трех типоразмеров 6 ступенчатых коробок передач, охватывающих более чем 6 кратный диапазон крутящих моментов -от 200 до 1300 Нм, в частности, являются следующие:

- осевые габариты, внутренние потери и масса коробок передач находятся в пределах или менее 5 ступенчатых коробок передач, при этом широкий диапазон передаточных чисел исключает необходимость для автомобилей типа "джип" и повышенной проходимости применения демультипликаторов в раздаточной коробке передач, что упрощает управление и удешевляет стоимость трансмиссионного агрегата;
- единая унифицированная система автоматизированного электропневматического управления;
- уменьшение расхода топлива за счет низких внутренних потерь и широкого диапазона передаточных чисел коробок передач.

Для всего семейства модели «ТМ» многоступенчатых коробок передач 2 из которых - ТМ8-1300 и ТМ 16-2000 являются базовыми типоразмерами и 8 модификаций (принимая во внимание возможность применения как высшей прямой, так и повышающей передачи, что предельно малой ценой расширяет возможности применения многоступенчатых трансмиссий, принимая во внимание различие мощностных показателей двигателей и условий эксплуатации автомобилей и автопоездов) впервые в мировой практике за счет целого ряда оригинальных опережающих технических решений удалось выполнить по предельно простой трех вольной кинематической схеме без каких-либо дополнительных опор и паразитных деталей. Это позволило иметь осевой габарит базовой коробки передач ТМ 16-2000 на 85 мм меньше по

отношению к самой последней коробке передач фирмы "Цанрад Фабрик" модели "Astronic 16AS 2200", хотя последняя имеет 2 промежуточных вала и меньшую несущую способность, что при пересчете на равноценную несущую способность увеличивает разницу в осевом габарите с 85 до 133,5 мм и это без учета разницы в 20 мм, обусловленной установкой в основном редукторе двух зубчатых муфт взамен синхронизаторов.

Таким образом, при функциональных одинаковых возможностях разница в осевом габарите достигает значения в 158,5 мм в пользу коробки передач ТМ16-2000. Это, в частности, и является одним из важных показателей позитивных отличительных особенностей опережающего технического уровня конструкторских решений.

В результате выполненных оригинальных конструкторских технических решений разработанные многоступенчатые коробки передач с планетарным демультипликатором изготовлены фактически по обычной трех вальной классической схеме, когда имеется три вала, четыре опоры и две картерных детали. Одновременно решалась задача уменьшения внутренних потерь в коробке передач за счет оригинальных конструкторских, геометрических и кинематических особенностей. Внутренние потери в коробке передач ТМ16-2000 составляют 1,3 кВт против 2,65 кВт в коробке передач S16-220 (по результатам фирмы "Цанрад Фабрик" на режиме измерения - прямая передача при 2000 мин⁻¹).

Ниже приводится сравнение параметров и технологических свойств коробки передач ТМ16-2000 с коробкой передач «Цанрад Фабрик» S16-220 «Экосплит», которая наиболее близка к коробке передач ТМ 16-2000 по кинематическим и выходным параметрам.

Синхронизатор ТМ16-2000 (рисунок 5) имеет широкую ступицу, ограничиваемую зубчатыми венцами, что уменьшает угловые колебания муфты синхронизатора при включенной передаче и склонность к самовыключению передачи [2]. В синхронизаторе ТМ16-2000 упругие элементы фиксаторов выполнены в виде стопорных колец, что упрощает сборку и исключает специальную сборку спиральных пружин и фиксаторных элементов. В этом случае также исключается возможность прижатия конусного блокирующего кольца к конусу зубчатого венца при включенной передаче. В синхронизаторе ТМ16-2000 блокирующие элементы на блокирующем кольце выполнены в виде трех зубьев и имеют скосы зубьев, независимые от торцевых скосов зубьев муфты. В результате этого износы на передних торцах зубьев муфты в процессе длительной работы коробки передач не влияют на блокирующие свойства синхронизатора. При изменении геометрии передних торцов у коробки передач фирмы «Цанрад Фабрик» будут ухудшаться блокирующие свойства синхронизатора, что способствует пробиванию синхронизатора. Одновременно разделение блокирующих элементов

синхронизатора и включающих элементов муфты дает возможность оптимально выбрать параметры этих элементов. Спиральные канавки на фрикционных поверхностях синхронизатора выполняются не на молибденовом покрытии, что весьма сложно и требует трех - четырехкратной толщины слоя покрытия, а на зубчатом венце. Муфта синхронизатора фирмы «Цанрад Фабрик» использует для ограничения хода широкие (строенные) зубья, что требует обязательного применения протяжек, в то время как муфта ТМ 16-2000 может нарезаться на обычном стандартном оборудовании. То есть изготовление синхронизатора ТМ 16-2000 не требует специализированного оборудования, он может изготавливаться на стандартном оборудовании.

Дополнительного пояснения требует конструкция двух конусного синхронизатора 1 -й передачи. Данное конструкторское решение с установкой дополнительного кольца с обратной стороны шестерни позволяет обеспечивать удвоенно эффективную работу синхронизатора без применения 2-х конусных двойных синхронизаторов типа «Цанрад Фабрик», которые обуславливают увеличенные внутренние потери.

В коробке передач ТМ 16-2000 направление спирали зуба имеет противоположное направление по отношению к общепринятому классическому, в том числе, примененном в коробке передач «Цанрад Фабрик». Указанное конструкторское решение обеспечит существенное уменьшение внутренних потерь в коробке передач. При классическом направлении спиралей зубьев осевые нагрузки от наклона зубьев шестерен действуют на наружные опорные подшипники, первичных и вторичных валов. Эти подшипники работают в условиях абсолютных оборотов валов. При обратном направлении спиралей зубьев, что заложено в коробке передач ТМ16-2000, силы направлены внутрь и замыкаются через подшипник передней опоры вторичного вала. В этом случае подшипник воспринимает не абсолютные обороты валов, а только разность этих оборотов, что в зоне особенно высших передач в несколько раз уменьшит внутренние потери.

Следующей отличительной особенностью, которая способствует уменьшению внутренних потерь коробки передач, является расположение подшипника задней опоры вторичного вала не в корпусе картера, а внутри водила, что практически при включении высшего диапазона демультипликатора снижает потери до нуля.

Аналитическое исследование, проведенное в НАМИ, показало, что указанная схема блокировки дифференциального ряда является не оптимальной. Наиболее правильно блокировать дифференциальный ряд за счет соединения корончатой шестерни со вторичным валом. В этом случае передача момента идет двумя потоками: один поток через солнечную

шестерню и сателлит на корончатую шестерню, а второй поток непосредственно от вторичного вала на корончатую шестерню. Такая блокировка резко снижает величину усилия на зубьях солнечной шестерни и практически исключает возможность бринелирования роликов подшипника. В этом случае величина крутящего момента, проходящего через солнечную шестерню, в 4,5 раза меньше, чем в конструкции планетарного демультипликатора фирмы «Цанрад Фабрик». Аналитическим исследованием установлено, что процессы синхронизации в конструкции НАМИ при включении высшего диапазона и одинаковых силовых элементах пневмоприводов происходят в 6-10 раз быстрее. За основу построения синхронизированного планетарного ряда была взята конструкторская схема "синхронизатора", при этом муфтой синхронизатора являлась корончатая шестерня, а роль ступицы выполняют пять сателлитов. В результате указанного решения, позволившего получить планетарный ряд с малыми размерами, удалось сократить (при увеличении несущей способности планетарного ряда и синхронизатора) осевой габарит коробки передач на 170 мм, а это позволило исключить промежуточную опору в коробке передач. Необходимо заметить, что наличие промежуточной опоры в коробках передач фирмы "Цанрад Фабрик" при прогибах вторичного вала и соответствующем перекосе в задней опоре вторичного вала обуславливает скрещивание осей солнечной шестерни и осей сателлитов. С увеличением крутящего момента в коробке передач это скрещивание будет возрастать, что не позволит обеспечить надлежащий контакт в зацеплении шестерен планетарного ряда и существенно сократит ресурс работы солнечной шестерни. Это качество будет сильнее проявляться при более тяжелых условиях работы автомобиля или автопоезда. В коробке передач этот недостаток исключен за счет исключения опоры вала в стенку.

Выполненное конструкторское решение планетарного ряда позволило исключить шесть достаточно сложных паразитных деталей, которые к тому же ухудшали функциональную работоспособность планетарного ряда.

Рассмотрим отличительные особенности двух планетарных кинематических и конструкторских схем, которые оказывают существенное влияние на шумовые показатели планетарного ряда. Испытания, проведенные в НАМИ, не позволили зафиксировать хоть какую-то разницу в шуме при включенном низшем и высшем диапазоне. Аналогичен результат, полученный «Цанрад Фабрик» после применения косозубого зацепления. Это объясняется следующими факторами. При наличии прямозубого зацепления в конструкции «Цанрад Фабрик» корончатая шестерня обладает избыточной свободой. При наличии косозубого зацепления появляются осевые силы, которые прижимают коронную шестерню к передаточному звену и тем существенно уменьшают избыточную свободу коронной шестерни.

При избыточной свободе происходит увеличение шумности по результатам экспериментов «Цанрад Фабрик». Одновременно нужно отметить, что применение косозубых шестерен уменьшит изгибную прочность солнечной шестерни. В конструкции планетарного ряда ТМ 16-2000 такая избыточная свобода полностью исключается за счет того, что при включении низшего диапазона корончатая шестерня прижимается башмаками к стенке картера демультипликатора. Это исключает колебания и вибрации коронной шестерни, в то время как функцию плавающего звена выполняет водило с сателлитами. Одновременно нужно отметить, что за счет исключения промежуточной опоры в конструкции ТМ16-2000 полностью отсутствует перекося оси сателлитов при прогибе и перекосе валов, что обеспечит надлежащий контакт зубьев шестерен планетарного ряда.

Особо стоит остановиться на оригинальном конструктивном решении механизма переключения передач. Он выполнен в виде самостоятельного модульного узла. Конструкция механизма обладает следующими преимуществами:

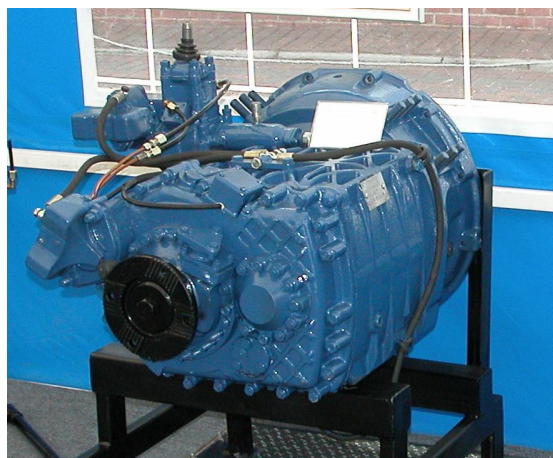
- существенно упрощает конструкцию и обработку корпусных деталей коробки передач и улучшает его компоновочные возможности и сборку коробки передач;
- сокращается длина штоков вилок в 2-2,5 раза;
- отличается высокой технологичностью изготовления вилок из листовой полосы, к тому же полностью унифицированных для всех трех синхронизаторов.

Касаясь конструктивных особенностей механизмов управления основным редуктором, делителем и демультипликатором, необходимо отметить, что все они также выполнены автономными механизмами и узлами в виде функционально самостоятельных модулей. В противоположность к блочному принципу конструирования, когда электроклапаны располагаются в едином блоке, в конструкции механизмов управления коробки передач ТМ16-2000 электроклапаны устанавливаются непосредственно на исполнительных механизмах, что исключает шесть пневматических шлангов. Это увеличивает надежность работы системы управления, повышает быстродействие работы силовых элементов за счет исключения воздушной трассы.

Конструкция механизмов управления основным редуктором предусматривает унификацию всех основных элементов, что повышает технологичность этих механизмов.

Важной особенностью разработанной перспективной коробки передач ТМ16-2000 является то, что при ее создании использовался многолетний опыт разработок как коробок передач различных размерностей и модификаций, так и систем управления, при этом подавляющее большинство технологических и конструктивных решений было апробировано

большим объемом стендовых, лабораторных и дорожно-эксплуатационных испытаний, что гарантирует надежную работу примененных конструктивных решений и, следовательно, коробки передач в целом.



а)



б)

Рисунок 9. – Экспериментальные образцы коробок передач: а) ТМ16-2000, б) ТМ8-2000

С целью промышленной реализации выполненных разработок, многолетних исследований и испытаний в области механических коробок передач считаем технически и экономически целесообразным, принимая во внимание целый комплекс опережающих технических решений, широкую унификацию коробок передач типоразмерного ряда и технологическую специфику конструкторских решений, создать на базе завода ГК КОМ (г. Набережные Челны, ООО "КОМ") специализированное производство по выпуску механических коробок передач в соответствии с разработанным типоразмерным рядом, на котором уже выпущены экспериментальные образцы коробок (рисунок 9).

Список литературы

1. Недеялков, А. П. Перспективы создания типоразмерного ряда унифицированных механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением. / А.П. Недеялков, А.А. Ипатов // Автомобили. Сборник научных трудов. Выпуск 232. М.: ГНЦ РФ – ФГУП «НАМИ», 2004, с. 11-62.
2. Недеялков, А.П. Расчет основных элементов синхронизаторов коробки передач / А.П. Недеялков, А.А. Трикоз // Автомобили и двигатели. Сборник научных трудов. Выпуск 230. М.: ГНЦ РФ – ФГУП «НАМИ», 2002, с. 160-169.