

## ПОВРЕЖДАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ МАРШРУТОВ АВТОПОЛИГОНА НА КОРОБКУ ПЕРЕДАЧ И ВЕДУЩИЕ МОСТЫ БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОМОБИЛЯ

Сопоставимые показатели накопления усталостных повреждений в деталях трансмиссии на 1 км пробега заданного маршрута  $R_{1н}$  согласно методике [1] рассчитываются по формуле

$$R_{1н} = \sum_{i=1}^p R_{1ni} \xi_i, \quad (1)$$

где  $R_{1ni}$  — сопоставимый показатель накопления усталостных повреждений в детали на 1 км пробега для  $i$ -й передачи коробки передач (КП);  $\xi_i$  — относительный пробег автомобиля на  $i$ -й передаче;  $p$  — число передач КП, используемых на маршруте.

Следует отметить, что рассчитанные по выражению (1) значения  $R_{1н}$  не дают полной оценки повреждающего воздействия маршрута на все детали агрегатов трансмиссии, так как не учитывают особенности нагружения ряда деталей на отдельных передачах. В частности, от номера включенной передачи зависит схема потока крутящего момента в КП и соответственно — характер нагружения ее деталей. Кроме того, от номера включенной передачи зависят дополнительные динамические нагрузки в зубчатых зацеплениях.

С учетом отмеченных особенностей были разработаны расчетные схемы для определения сопоставимых показателей накопления усталостных повреждений в зубчатых колесах, подшипниках и валах ступенчатых коробок передач и ведущих мостов.

В расчетных схемах учитывается число циклов нагружения детали, и определение значений  $R_{1н}$  выполняется таким образом, чтобы они могли быть использованы в расчетных формулах для прогнозирования долговечности деталей по существующим методикам.

Получены расчетные зависимости для вычисления значений  $R_{1н}$  коробок передач и ведущих мостов (главных передач) следующих конструктивных схем.

**Коробок передач:**

- трехвальной;
- многоступенчатой с дополнительным редуктором (ДР) впереди основной коробки передач (ОКП);
- многоступенчатой с ДР, находящимся за ОКП.

**Главных передач:**

- одинарной;
- центральной двойной;
- разнесенной двойной.

Приведем расчетные формулы для определения сопоставимых показателей накопления усталостных повреждений в подшипниках многоступенчатой КП с ДР, расположенным впереди ОКП:

входного вала ДР

$$R_{1н} = \sum_{i_{\text{четн}}} \left( \frac{K_{pi} K_{\beta i}}{u_{\text{кп}i}} \right)^m R_{1нi}^{\text{Пл}} u_{\text{кп}i} n_{\text{кв}} \xi_i ;$$

выходного вала ДР

$$R_{1н} = \sum_{i_{\text{четн}}} \left( \frac{K_{pi} K_{\beta i}}{u_{\text{кп}i}} \right)^m R_{1нi}^{\text{Пл}} \frac{u_{\text{кп}i}}{u_{\text{др}}} n_{\text{кв}} \xi_i ;$$

первичного вала ОКП

$$R_{1н} = \sum_{i_{\text{нечетн}}} \left( \frac{K_{pi} K_{\beta i}}{u_{\text{кп}i}} \right)^m R_{1нi}^{\text{Пл}} u_{\text{кп}i} n_{\text{кв}} \xi_i, \text{ для } u_{\text{кп}i} \neq 1 ;$$

промежуточного вала ОКП

$$R_{1н} = \sum_{i_{\text{четн}}} \left( \frac{K_{pi} K_{\beta i}}{u_{\text{кп}i}} \right)^m R_{1нi}^{\text{Пл}} \frac{u_{\text{кп}i}}{u_{\text{др}}} n_{\text{кв}} \xi_i + \\ + \sum_{i_{\text{нечетн}}} \left( \frac{K_{pi} K_{\beta i}}{u_{\text{кп}i}} \right)^m R_{1нi}^{\text{Пл}} \frac{u_{\text{кп}i}}{u_{\text{ко}}} n_{\text{кв}} \xi_i, \text{ для } u_{\text{кп}i} \neq 1 ;$$

вторичного вала ОКП

$$R_{1н} = \sum_i \left( \frac{K_{pi} K_{\beta i}}{u_{\text{кп}i}} \right)^m R_{1нi}^{\text{Пл}} n_{\text{кв}} \xi_i, \text{ для } u_{\text{кп}i} \neq 1 ,$$

где  $R_{1нi}^{\text{Пл}}$  – сопоставимые показатели накопления усталостных повреждений в подшипниках на 1 км пробега автомобиля для  $i$ -й передачи. Эти показатели рассчитываются по методике [1] в приведении к карданному валу. Номер упругого звена трансмиссии зависит от расположения детали в динамической системе;  $K_{pi}$  – коэффициенты эквивалентных нагрузок на подшипник;  $K_{\beta i}$  – коэффициенты, учитывающие влияние внутренних динамических нагрузок, теплового режима и поверхностной твердости беговых дорожек на усталостное повреждение подшипников;  $m$  – показатель степени в уравнении кривой усталости;  $u_{\text{кп}i}$  – передаточные числа КП;  $u_{\text{др}}$  – передаточное число ДР;  $u_{\text{ко}}$  – передаточное число пары колес привода промежуточного вала ОКП;  $n_{\text{кв}}$  – число оборотов выходного вала КП на 1 км пробега автомобиля;  $i_{\text{четн}}$ ,  $i_{\text{нечетн}}$  – четные и нечетные номера передач КП.

Для указанных типов коробок передач и ведущих мостов на основании полученных зависимостей разработаны программные блоки, которые включены в комплексную программу для расчета сопоставимых показателей накопления усталостных повреждений в деталях трансмиссии [1].

По разработанному пакету программ проведены расчеты сопоставимых показателей накопления усталостных повреждений в деталях коробки передач и ведущих мостов одиночного автомобиля КАМАЗ-5320 и в составе автопоезда с прицепом ГКБ-8350 при его движении по маршрутам автополигона [2].

Расчеты проводились для автомобиля с передаточным числом главной передачи  $u_0 = 5,43$ .

Результаты расчетов для одиночного автомобиля представлены в табл. 1. На основании этих результатов можно сделать ряд выводов о возможностях форсирования ресурсных испытаний деталей КП.

Эффективное форсирование ресурсных испытаний коробки передач одиночного автомобиля КамАЗ-5320 достигается для зубчатых колес привода промежуточного вала, зубчатых колес III–IV и V–VI передач, подшипников основной коробки передач, а также для валов. Для зубчатых колес и подшип-

Т а б л и ц а 1

Повреждающее воздействие испытательных маршрутов автополигона НАМИ на детали трансмиссии одиночного автомобиля\*

Агрегат	Детали	Испытательный маршрут						
		бульжная дорога	горный маршрут	подъемы малой крутизны	разгон-торможение			
					диапазоны КП			
					низ-ший	выс-ший		
Коробка передач	ДР	1,10	0,78	1,40	—	15,3		
	Зубчатые колеса	Привода промежуточного вала ОКП	3,14	5,71	7,14	51,6	—	
		Отдельных передач ОКП	III–IV	4,10	4,38	52,4	58,1	110,4
			V–VI	27,60	16,4	93,1	183,0	212,7
	VII–VIII	1,93	3,21	0,93	4,6	—		
	Подшипники	Входного вала ДР	1,85	1,25	2,62	—	13,9	
		Выходного вала ДР	2,20	1,24	3,60	—	20,0	
		Первичного вала ОКП	3,17	5,71	4,60	14,0	—	
		Промежуточного вала ОКП	2,88	5,0	6,92	23,3	1,6	
		Вторичного вала ОКП	2,92	3,83	4,25	11,4	7,5	
Ведущий мост	Зубчатые колеса	2,8	2,8	7,7	14,0	16,5		
	Подшипники	3,3–3,4	3,0–3,15	8,9–9,6	16,8	19,5		
	Полуось	57,9	3,7	11,9	101,8	109,6		

\*Соотношение повреждающих воздействий приводится относительно скоростной дороги.

ников дополнительного редуктора, а также для зубчатых колес VII–VIII передач основной коробки интенсификация повреждающих воздействий на маршрутах, составляющих основу программы форсированных испытаний, невелика.

Все рассмотренные детали ведущего моста одиночного автомобиля при движении на подъемах малой крутизны и в режиме разгон–торможение испытывают повреждающие воздействия, позволяющие ускорить проведение ресурсных испытаний не менее чем в 5 раз.

Результаты расчетов для автомобиля-тягача автопоезда приведены в табл. 2. Они показывают следующее:

– степень форсирования повреждающих воздействий на зубчатые колеса дополнительного редуктора для рассмотренных маршрутов в сравнении со скоростной дорогой у автопоезда выше, чем у одиночного автомобиля. При включении в программу форсированных испытаний режима разгон–торможение

Т а б л и ц а 2

Повреждающее воздействие испытательных маршрутов автополигона НАМИ на детали трансмиссии автомобиля-тягача автопоезда\*

Агрегат	Детали	Испытательный маршрут							
		бульж- ная до- рога	горный марш- рут	подъемы 6, 8, 10 %	разгон- торможение				
					диапазоны КП				
				низ- ший	выс- ший				
Коробка передач	Зубчатые колеса	ДР	2,33	1,63	2,67	–	18,5		
		Привода промежуточного вала ОКП	4,14	3,28	4,83	23,2	–		
		Отдельных передач ОКП	III–IV	32,0	34,0	160,0	41,9	52,4	
			V–VI	3,62	2,44	1,88	8,1	8,9	
	VII–VIII		3,31	2,12	1,0	4,8	–		
	Подшипники	Входного вала ДР	2,94	2,35	4,24	–	13,2		
		Выходного вала ДР	2,44	2,56	5,0	–	15,9		
		Первичного вала ОКП	3,79	3,21	3,64	7,9	–		
		Промежуточного вала ОКП	4,0	2,86	3,71	10,7	0,7		
		Вторичного вала ОКП	3,68	2,44	2,04	6,7	4,3		
	Ведущий мост	Зубчатые колеса	3,8	4,7	12,8	6,4	8,0		
Подшипники		4,2–4,4	5,9–6,1	17,1–18,1	7,1	9,2			
Полуось		73,3	16,0	46,0	54,3	95,1			

\* Соотношение повреждающих воздействий приводится относительно скоростной дороги.

ние на высшем диапазоне КП можно получить коэффициент приведения, близкий к 5;

увеличение повреждающего воздействия на зубчатые колеса привода промежуточного вала ОКП для рассмотренных маршрутов у автопоезда в целом ниже, чем у одиночного автомобиля. Однако и у автопоезда при включении в программу испытаний режима разгон—торможение на низшем диапазоне КП имеется возможность эффективно форсировать накопление повреждения в этих деталях;

– зубчатые колеса I—II и III—IV передач ОКП при движении на подъемах малой крутизны испытывают повреждающее воздействие, достаточное для эффективного ускорения ресурсных испытаний;

– повреждающее воздействие на зубчатые колеса V—VI и VII—VIII передач ОКП для подъемов малой крутизны и режимы разгон—торможение не столь велико, чтобы получить приемлемые значения коэффициентов приведения форсированных испытаний;

– степень интенсификации накопления повреждений в сравнении со скоростной дорогой у подшипников дополнительного редуктора автомобиля-тягача выше, чем у одиночного автомобиля, а у подшипников основной КП, наоборот, — ниже.

Накопление повреждений в деталях ведущего моста у автомобиля-тягача на подъемах малой крутизны выше, чем при движении в режиме разгон—торможение. У одиночного же автомобиля, наоборот, накопление повреждений для этого режима выше. Включение в форсированные испытания 25–30 % пробега общей программы на подъемах малой крутизны позволяет получить коэффициент приведения для деталей ведущего моста автопоезда не менее 5.

Для автопоезда с номинальной полной массой также проведены расчеты с передаточным числом главной передачи  $u_0 = 7,22$ . Существенно снижается повреждающее воздействие на зубчатые колеса низших передач и привода промежуточного вала ОКП, а также на ряд других деталей ОКП. Зубчатые колеса VII—VIII передач ОКП и ДР, наоборот, в этом случае имеют более высокие значения сопоставимых показателей накопления усталостных повреждений. Повреждающее воздействие на зубчатые колеса и подшипники ведущего моста при  $u_0 = 7,22$  составляет 0,3–0,7 от соответствующих значений для  $u_0 = 5,43$ .

На основании проведенных предварительных расчетов можно утверждать, что уменьшение передаточного числа главной передачи позволяет повысить степень форсирования испытаний большинства элементов коробки передач и ведущего моста.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бусел Б.У., Гришкевич А.И., Чечик В.И. Методика расчета нагрузочного режима трансмиссии автомобиля. — В кн.: Автотракторостроение. Минск, 1979, вып. 13, с. 13–22.
2. Безверхий С.Ф., Диденко М.Н., Яценко Н.И. Новые методы планирования испытания автомобильных трансмиссий на автополигоне. — М., 1977. — 60 с.