

В. А. Дзюнь

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНОГО РЕЖИМА ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ ГАЗ-53

Создание надежных и долговечных автомобилей требует всестороннего анализа действительных процессов возникновения и распространения нагрузок в деталях трансмиссии. Многообразие факторов, влияющих на нагруженность трансмиссии, приводит к необходимости экспериментального исследования процесса, к применению статистических методов при оценке явлений, наблюдаемых в трансмиссии движущегося автомобиля.

Целью проводившихся в 1967—1968 гг. исследований нагрузочного режима трансмиссии автомобиля ГАЗ-53 было накопление и систематизация экспериментальных данных по нагруженности трансмиссии; установление типов статистического распределения нагрузок и вероятностных характеристик процесса нагружения при работе автомобиля в различных условиях; сравнительная оценка долговечности трансмиссии при проведении испытаний по дорогам общего пользования и испытательным дорогам автополигона НАМИ.

Условия испытаний. Испытания проходил серийный автомобиль ГАЗ-53А с двигателем мощностью 115 л. с., с четырехступенчатой коробкой передач и гипойдным ведущим мостом с передаточным числом 6,83. Полный вес груженого балластом автомобиля составлял 7 400 кг.

Исходя из типичных условий эксплуатации автомобиля, была принята следующая классификация дорог общего пользования: а) асфальтобетонное междугороднее шоссе I—II категории; б) дороги с твердым и улучшенным покрытием (асфальтированные, гравийные, щебеночные и т. п.) III и IV категории в удовлетворительном состоянии; в) дороги с твердым покрытием (выбитый асфальт, булыжник, гравий, щебень и т. п.) IV—V категории в плохом состоянии; г) грунтовые дороги в сельской местности в удовлетворительном состоянии; д) грунтовые дороги в плохом состоянии; е) скользкие грунтовые дороги; ж) песчаные дороги; з) улицы городов.

Испытания проводились на магистральных шоссейных, а так-

же областного и местного значения дорогах в РСФСР, Украинской и Белорусской ССР.

На дорогах общего пользования выдерживался нормальный эксплуатационный режим движения, определяемый возможностями двигателя, безопасностью движения и сохранностью автомобиля.

На автополигоне НАМИ испытания проводились на кольцевых испытательных дорогах: скоростной, булыжной и грунтовой, а также на спецдорогах типа «короткие волны» и «бельгийская мостовая». При испытаниях на кольцевых дорогах поддерживался режим длительной максимальной скорости, на спецдорогах скорость ограничивалась возникновением резонансных колебаний в подвеске и потерей управляемости.

При проведении испытаний осуществлялась непрерывная запись процесса нагружения, переходные режимы движения (трогание с места, переключения передач, торможения и т. п.) отдельно не выделялись и учитывались в общей регистрации.

Регистрируемые процессы и измерительная аппаратура. При испытаниях регистрировался процесс нагружения полуоси ведущего моста автомобиля. Для этой цели на полуось были наклеены тензодатчики сопротивления, которые затем через токоотъемник соединялись с усилительной и регистрирующей аппаратурой. Для определения величин и закона распределения нагрузок на полуоси при длительном движении автомобиля мгновенные значения крутящего момента регистрировались режимомером РМ-3А — электронным цифровым прибором, позволяющим получать интегральное и дифференциальное распределение значений измеряемых динамических процессов с диапазоном частот от 0 до 50 гц.

Осциллограммы процессов нагружения полуоси для последующего выявления характера нагружения, определения величин нагрузок и расчета вероятностных характеристик процесса записывались на осциллографе К12-21 с тензоусилителем ТА-5 и преобразователем постоянного тока ППР-120.

Время движения и пробег автомобиля на каждой передаче, а также общее время и пробег регистрировались специальным прибором «путь — время». Прибор позволяет также фиксировать число включений одной из передач коробки.

Вопросы необходимой длительности регистрации решались в процессе проведения испытаний исходя из условия стабилизации статистических данных (среднего значения и среднеквадратического отклонения) при первичной обработке и анализе получаемых результатов.

Длительность замеров с режимомером составляла 5—8 ч (200—400 км по пробегу) для каждого вида дорожных условий.

Обработка результатов испытаний. При обработке результатов испытаний с режимомером вычислялись опытные вероятност-

ные характеристики распределения нагрузок на полуоси ведущего моста автомобиля: плотность вероятности, среднее значение (математическое ожидание), дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса. Кроме того, рассчитывались параметры выравнивающих теоретических законов распределения, коэффициенты пробега по экспериментальным и теоретическим кривым, проверялось соответствие теоретических законов экспериментальному распределению.

Проверка согласия опытного статистического распределения нагрузок производилась с нормальным и логарифмически нормальным законами, с распределениями типа А и Пирсона I и IV рода. Совпадение или несовпадение опытного распределения с теоретическими оценивались с помощью так называемого критерия согласия по использованию, возможность применения которого основана на дальнейшем использовании кривых распределения для расчета коэффициентов пробега. Коэффициенты пробега служат для замены действительного пробега автомобиля эквивалентным [2, 3] и в первом приближении могут использоваться для сравнительной оценки расчетной долговечности деталей:

$$K_{\text{п}} = \frac{\sum M_i^m P_i}{M_p^m},$$

где M_p — расчетный крутящий момент на полуоси ведущего моста автомобиля (для ГАЗ-53 $M_p = 600 \text{ кгм}$); m — показатель степени, характеризующей наклон кривой усталости детали в зависимости от вида напряженного состояния, материала и термообработки.

Теоретический закон удовлетворительно описывает опытное распределение при выполнении условия:

$$K_{\text{с. и}} = \left| \frac{K_{\text{п. теор}} - K_{\text{п. эксп}}}{K_{\text{п. эксп}}} \right| \leq 0,05.$$

Впервые критерий согласия по использованию предложил И. С. Цитович.

При обработке осциллограмм нагружения полуоси рассчитывались статистические характеристики закона распределения, а также корреляционные функции и спектральные плотности процессов.

Вычисления выполнялись на ЭВМ «Минск-2». Для ввода экспериментальных графиков — реализаций процесса — использовался фотоэлектронный дешифратор графиков ФДГ-1, который производит считывание ординат непрерывной визуальной кривой с бумажной ленты через определенные промежутки времени, преобразует информацию и передает ее в электронную цифровую вычислительную машину. В основу программы дальнейшей обработки

положены следующие формулы вычисления оценок автокорреляционной функции $K_x(\tau)$ и энергетического спектра $S(\omega)$:

$$K_x(\tau) = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} [x(t) - \bar{x}][x(t+\tau) - \bar{x}] dt,$$

$$S(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\tau_{\max}} K_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

где $\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$.

Интегралы вычисляются по формулам трапеций.

Время наблюдения реализации, необходимое для получения оценки корреляционной функции с заданной точностью, можно приблизительно определить, зная низшую частоту процесса. Длительность регистрации процесса при проведении испытаний обычно составляла 120—130 сек, что обеспечивает для частот с периодом низшей гармоники $T_0 > 12,5$ кол/сек относительную ошибку $\delta \leq 2\%$ [1, 4].

Кроме того, осциллограммы процесса нагружения полуоси на отдельных участках тяжелых дорог (песок, грунтовые дороги) обрабатывались вручную методом квантования по уровню и затем на ЭВМ по программе вычисления статистических характеристик, коэффициентов пробега и критериев согласия.

По данным регистрации времени и пути по передачам рассчитывались средние скорости движения на различных дорогах и процентное соотношение используемых передач в зависимости от дорожных условий.

При расчете характеристик общей кривой распределения нагрузок было принято следующее распределение времени работы автомобиля в различных условиях: асфальтобетонное шоссе — 20%, шоссе с твердым покрытием в удовлетворительном состоянии — 25, в плохом — 20, грунтовые дороги в удовлетворительном состоянии — 10, в плохом — 10, скользкие — 5, улицы городов — 10%.

Результаты испытаний. Проведенные испытания позволили получить большое количество данных по нагрузочному режиму трансмиссии автомобиля ГАЗ-53.

Основными факторами, влияющими на величину длительно действующего крутящего момента в трансмиссии, являются режим движения и нагрузка автомобиля, продольный профиль и состояние покрытия дороги, индивидуальные качества водителя.

Некоторые результаты испытаний и обработки опытных данных приведены в табл. 1. Экспериментальные кривые статистического распределения крутящего момента на полуоси ведущего

Таблица 1

Параметры	Асфальто-бетонное шоссе I—II категории	Скоростная дорога автополигона	Дорога с твердым покрытием III—IV категории	Булыжная дорога автополигона	Грунтовые дороги общего пользования			Грунтовая дорога автополигона	Улицы городов	Суммарная по дорогам общего пользования		
					в удовлетворительном состоянии	в плохом состоянии	скользкие					
Среднее значение крутящего момента	$\overline{M}_{кр}$	45,8	38,3	41,6	57,9	41,1	41,8	57,8	68,5	48,3	45,3	
Среднее удельное тяговое усилие	$\overline{P}_{уд}$	0,027	0,024	0,024	0,034	0,024	0,025	0,034	0,041	0,028	0,027	
Среднее квадратичное отклонение	σ	0,015	0,011	0,017	0,019	0,019	0,026	0,025	0,037	0,026	0,021	
Коэффициенты пробоя	По изгибным напряжениям ($m=9$)	$K_{п}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$12 \cdot 10^{-8}$	$13 \cdot 10^{-8}$	$51 \cdot 10^{-8}$	$12 \cdot 10^{-8}$	$78 \cdot 10^{-8}$	$83 \cdot 10^{-8}$	$1680 \cdot 10^{-8}$	$59 \cdot 10^{-8}$	$33 \cdot 10^{-8}$
	По контактным напряжениям ($m=3$) подшипников ($m=3,33$)	$K'_{п}$	$0,88 \cdot 10^{-3}$	$0,47 \cdot 10^{-3}$	$0,88 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$0,96 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
	$K_{п.подш}$	$0,48 \cdot 10^{-3}$	$0,24 \cdot 10^{-3}$	$0,49 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,54 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	
Средняя техническая скорость автомобиля	v	59,0	89,5	54,0	57,4	39,6	33,7	26,9	35,0	27,4	44,4	
Выравнивающий теоретический закон	тип А	логарифмически нормальный	тип А	логарифмически нормальный	логарифмически нормальный	тип А	тип А	тип А	логарифмически нормальный	логарифмически нормальный	логарифмически нормальный	

моста автомобиля ГАЗ-53А при движении по различным дорогам общего пользования и автополигона НАМИ показаны на рис. 1 и 2.

Общий уровень нагруженности и, следовательно, расчетной долговечности трансмиссии оценивался по величинам коэффициентов пробегов для различных напряженных состояний деталей.

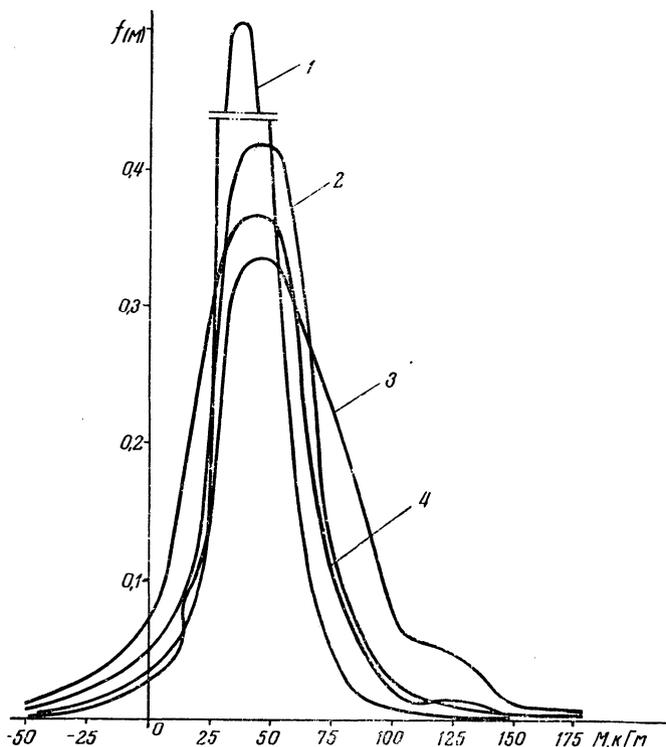


Рис. 1. Статистическое распределение крутящего момента на полуоси ведущего моста в различных условиях:
 1 — скоростная дорога автополигона; 2 — шоссе I—II категории;
 3 — булыжная дорога автополигона; 4 — шоссе III—IV категории.

По результатам испытаний расчетная долговечность трансмиссии на обыкновенной булыжной дороге автополигона примерно в три раза меньше долговечности агрегатов при движении автомобиля по дорогам с твердым покрытием III — IV категории.

Расчетная долговечность трансмиссии на грунтовой дороге полигона в 3—4 раза по контактным и в 20—25 раз по изгибным напряжениям ниже долговечности на грунтовых дорогах общего пользования.

Из-за низкого уровня нагруженности проведение усталостных

испытаний агрегатов трансмиссии автомобиля на скоростной дороге автополигона представляется нецелесообразным.

Анализ экспериментального распределения нагрузок и корреляционных функций процесса показал, что при исследовании нагруженности трансмиссии формирование нагрузки можно рассматривать как случайный стационарный процесс, обладающий свойством эргодичности, с законом распределения ординат, близким к нормальному.

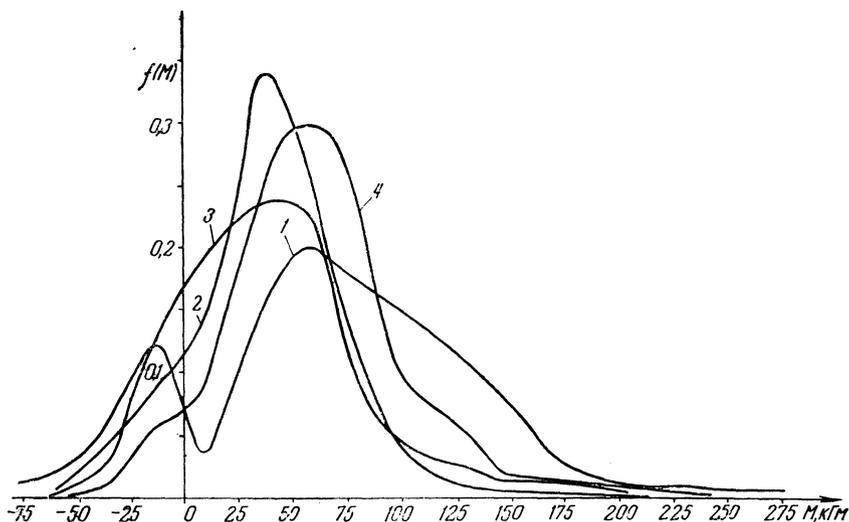


Рис. 2. Статистическое распределение крутящего момента на полуоси ведущего моста при движении по грунтовым дорогам: автополигона (1), общего пользования в удовлетворительном состоянии (2), в плохом состоянии (3) и скользким (4).

При движении автомобиля по ровным с удовлетворительным покрытием дорогам интенсивность напряжений в трансмиссии невелика и процесс нагружения имеет плавный характер с усиленной вероятностной связью (рис. 3). Время корреляции сравнительно велико (до 10—12 сек), функция затухает медленно. На разбитых, неровных дорогах интенсивность напряжений наибольшая и процесс нагружения имеет характер резких колебаний с большими частотами. Вероятностная связь быстро убывает, что приводит к сокращению времени корреляции и затуханию функции.

Для спектральной плотности процессов характерно наличие острого пика в области малых частот (до 1—1,5 кол/сек), вызванного возмущением со стороны дороги.

С увеличением скорости движения автомобиля время корреляции процесса уменьшается, значения спектральной плотности при

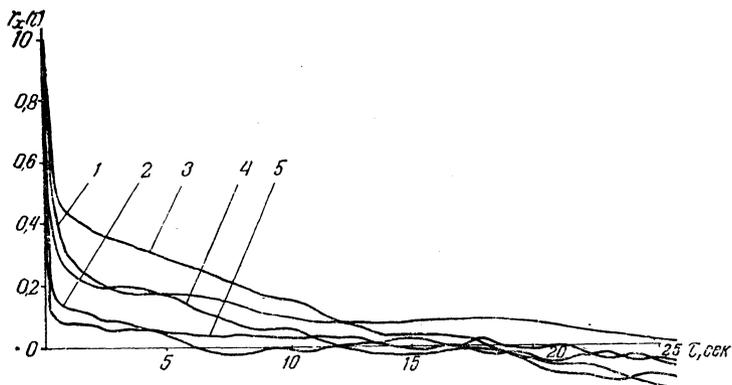


Рис. 3. Нормированная корреляционная функция процесса нагружения полуоси ведущего моста при движении по бетонной дороге с различной скоростью:

1—60 км/ч; 2—70 км/ч; 3—80 км/ч; 4—90 км/ч; 5—60—90 км/ч.

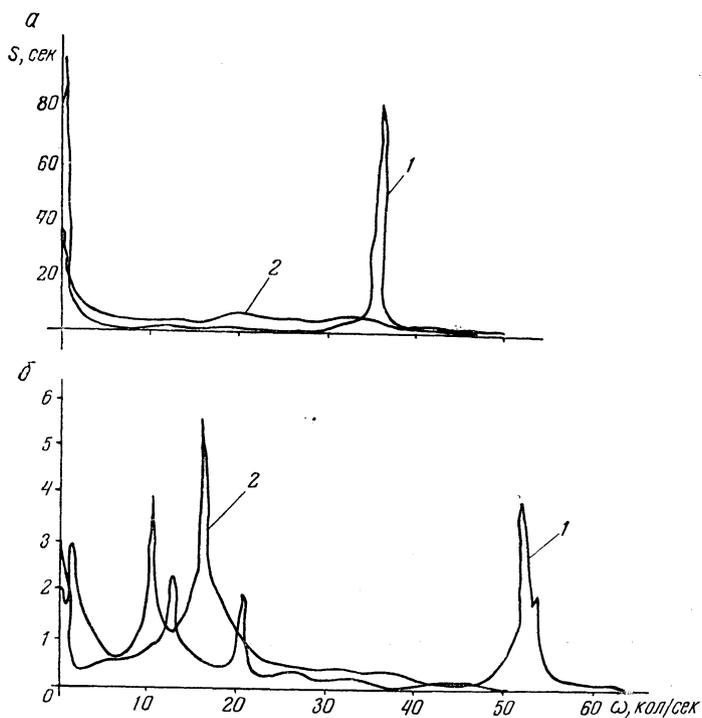


Рис. 4. Нормированная спектральная плотность процесса нагружения полуоси ведущего моста при движении по бетонной дороге со скоростью 60 км/ч (1) и 70 км/ч (2) и по специальным дорогам полигона (б) типа «короткие волны» (1) и «бельгийская мостовая» (2).

$\omega = 0$ падают, кривые спектральной плотности смещаются в область больших частот.

При движении на прямой передаче со скоростью 60 км/ч наблюдается резонансное повышение амплитуд упругого момента в области частот порядка 35 кол/сек, вызванное совпадением частоты воздействия с одной из собственных частот системы (рис. 4, а). При движении по булыжной, грунтовой и песчаной дорогам энергетический спектр момента становится быстро убывающей функцией и в области частот более 15—25 кол/сек становится нечувствительно малым. Для дороги типа «короткие волны» при движении со скоростью 20 км/ч характерно наличие области резонансных колебаний на частотах 50—55 кол/сек, на «бельгийской мостовой» наибольшей энергией обладают колебания с частотой 13—18 кол/сек (рис. 4, б).

Выводы

1. Принятая методика исследования нагрузочного режима трансмиссии автомобиля и применяемая аппаратура для регистрации процессов и обработки результатов позволяют получить достоверные данные о нагруженности исследуемых деталей.

2. Полученные данные в виде экспериментальных кривых распределения вероятностей, корреляционных функций и спектральных плотностей процессов нагружения являются исходными для расчетов деталей на усталостную прочность, для разработки программ стендовых испытаний деталей трансмиссии, а также для определения переходных коэффициентов от одних видов испытаний к другим.

3. Целесообразно проведение экспериментального определения основных характеристик процесса на других валах трансмиссии (на карданном, в коробке передач) и расчета передаточных функций системы с целью выявления более полной картины нагружения трансмиссии автомобиля.

Литература

1. Балакирев В. С. и др. Экспериментальное определение динамических характеристик. М., 1967.
2. Проектирование и расчет зубчатых колес автомобилей и тракторов. Ч. I и II. Минск, 1966.
3. Цитович И. С. Методика расчетов трансмиссий на электронных вычислительных машинах. Минск, 1967.
4. Чеголин П. М., Афанасьев Г. К. Автоматизация анализа экспериментальных графиков. М., 1967.