

РАСЧЕТ РЕСУРСА И ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ ПЕРЕДНЕГО МОСТА АВТОМОБИЛЯ "УРАЛ - 5557"

Разрушение машиностроительных конструкций в процессе их эксплуатации от длительного действия динамических нагрузок явление достаточно распространенное, а в ряде случаев даже неизбежное, и, следовательно, ведущее к необходимости расчетным путем или экспериментально получать характеристики сопротивления усталости наиболее нагруженных узлов.

Быстрое развитие компьютерной техники и технологии приводит к необходимости пересмотра сложившегося за прошедшие десятилетия подхода к расчету долговечности элементов машиностроительных конструкций.

Наиболее удачный, из существующих в настоящее время, подход к решению задачи расчетного определения усталостных свойств деталей машин может быть описан структурной схемой, представленной на рис.1.

Условно эту задачу можно разделить на три этапа.

На первом этапе расчета вычисляются характеристики процесса изменения напряжений в опасных с усталостной точки зрения элементах конструкции при эксплуатационном нагружении. Для чего используется информация о внешнем динамическом воздействии и конечно-элементная модель этой конструкции.

На этом этапе теперь широко применяются пакеты прикладных программ, такие как ANSYS или NASTRAN, позволяющие работать с конечно-элементными моделями очень сложных механических систем, и рассчитывать требуемые выходные характеристики для опасных сечений конструкции, например, в виде спектральных плотностей напряжений, которые в дальнейшем используются при оценке усталостных свойств.

Второй этап расчета заключается в том, чтобы, используя результаты стандартных усталостных испытаний лабораторных образцов или конструктивных моделей, определить характеристики сопротивления усталости реальной детали при гармоническом воздействии. При этом могут быть учтены все конструктивные (масштаб, концентрация напряжений), технологические (качество обработки поверхности, термообработка и т.д.) и эксплуатационные (температура, коррозия, облучение и т.д.) различия между образцами или деталями, с помощью которых была получена кривая усталости, и деталью или элементом конструкции, для которого производится вычисление ресурса.



Рис.1. Структурная схема определения характеристик сопротивления усталости элементов конструкций при эксплуатационном воздействии

На третьем этапе определяют характеристики сопротивления усталости элементов конструкций при случайном нагружении. Для этого используются результаты динамического расчета, полученные на первом этапе, и данные о предельном состоянии деталей, полученные на втором.

Расчет характеристик сопротивления усталости несущих элементов машиностроительных конструкций с использованием предложенной методики рассмотрим на примере грузового автомобиля "Урал-5557". Для расчета ресурса была выбрана поворотная цапфа переднего моста автомобиля (см. рис. 2).



Рис. 2. Автомобиль "Урал - 5557"

Эскиз переднего моста показан на рис. 3, стрелками указаны места образования усталостных трещин.

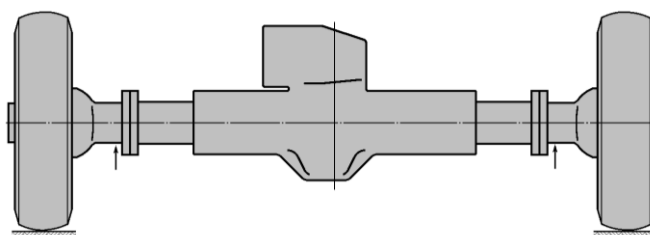


Рис. 3. Эскиз переднего моста автомобиля "Урал".

Расчет был выполнен в соответствие со структурной схемой, показанной на рис. 1. Действующие напряжения определялись с использованием метода конечных элементов.

Модель автомобиля

1.1

Достигнутый на сегодняшний день уровень развития программного и компьютерного обеспечения позволяет анализировать конечно-элементные модели, имеющие порядка 10^6 степеней свободы. Это дает возможность достаточно подробно моделировать сложные машиностроительные конструкции, но увеличение размерности модели увеличивает время и трудоемкость исследований, поэтому при ее создании необходимо стремиться находить баланс между точностью модели и скоростью проведения расчетов.

Приемлемая точность оценки вибронагруженности несущих элементов конструкции грузового автомобиля может быть достигнута с использованием конечно-элементной модели, построенной из балочных (BEAM) и оболочечных (SHELL) элементов. Такая модель "Урала-5557-10", имеющая порядка 300000 степеней свободы, показана на рис 4.

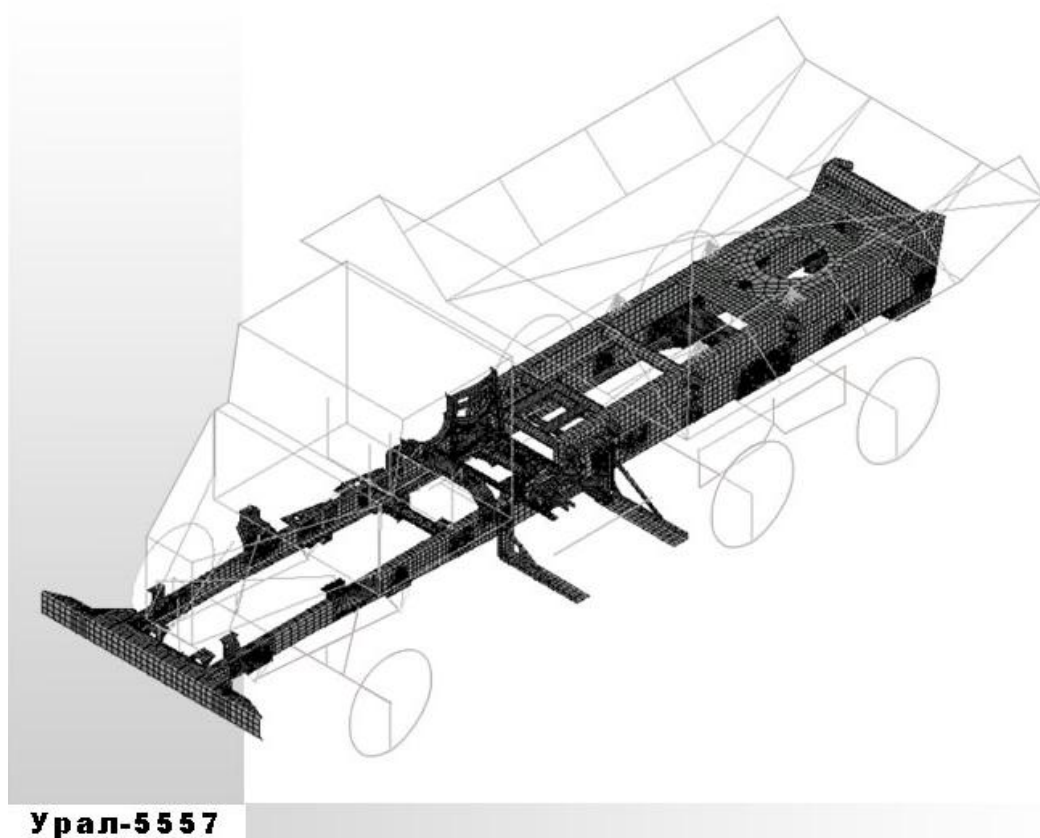


Рис. 4. Полная конечно-элементная модель автомобиля "Урал - 5557"

В отличие от вычисления виброускорений, оценка напряженно-деформированного состояния в локальных зонах конструкции при такой степени детализации дает значительные погрешности. Соответственно элемент, для которого производится вычисление параметров усталостной долговечности, необходимо моделировать подробно. По этой причине поворотные цапфы были смоделированы отдельно (см. рис. 5), и уже как "суперэлементы" включены в полную модель автомобиля (см. рис. 4).

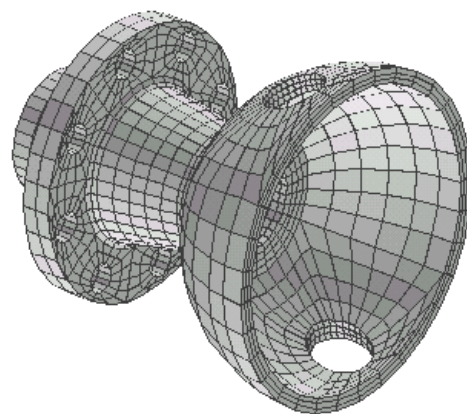


Рис. 5. Суперэлемент – поворотная цапфа

Модель дорожного воздействия

1.2

Для максимально точной оценки усталостной долговечности автомобиля необходимо рассмотреть все значимые случаи нагружения в процессе его эксплуатации: стационарные и нестационарные.

Стационарным случаем нагружения автомобиля принято считать прямолинейное движение с постоянной скоростью по дороге определенного типа. Любые другие случаи динамического нагружения считаются нестационарными.

При расчете стационарных случаев нагружения с использованием линеаризованных конечно-элементных моделей обычно используют частотные методы, например, спектральный анализ. При исследовании нестационарных процессов или стационарных процессов с учетом нелинейных характеристик системы используются методы решения во временной области.

В зависимости от того какой тип анализа применяется для оценки усталостной прочности несущих систем автомобиля используются разные способы задания дорожного воздействия.

При использовании частотных методов дорожное воздействие проще задавать в виде матрицы взаимных спектральных плотностей высот неровностей микропрофиля дорожного покрытия. При этом принимаются следующие допущения:

1. Колёса имеют двустороннюю связь с дорогой, то есть не отрываются от опорной поверхности при колебательных процессах;
2. Контакт колеса с дорогой точечный.

При решении этой же задачи во временной области дорожное воздействие задается в виде дискретной функции перемещений в узлах, моделирующих контакт автомобиля с дорогой.

При любом способе анализа построенная конечно-элементная модель автомобиля "Урал" (см. рис. 4) для проведения динамических расчетов требует пространственную модель дорожного воздействия.

Стационарное дорожное воздействие

1.3

Одним из результатов многочисленных работ по исследованию микропрофиля дорог различного типа от скоростных автомагистралей до грунтовых стало допущение о том, что случайная функция продольного микропрофиля дороги является нормальной и стационарной [1...5]. Это допущение позволяет применять для описания геометрии дорожного покрытия методы корреляционной теории случайных процессов. В соответствии с ними для формирования модели дорожного воздействия необходимо располагать такими статистическими характеристиками микропрофиля, как спектральная плотность $G(f)$ и взаимная спектральная плотность высот неровностей правой и левой колеи $G_w(f)$.

В отечественной литературе имеется небольшое количество данных по измерениям микропрофиля дорог разных типов. При этом практически всегда измерения проводились по одной колее, из-за чего данных для получения пространственной модели дорожного воздействия не хватает.

Доддсом в 1974г. [1] исходя из гипотезы изотропности поля дорожного воздействия была предложена зависимость, по которой можно получить взаимную корреляционную функцию двух колеи дороги $R_w(\tau)$, располагая корреляционной функцией микропрофиля одной колеи $R(\tau)$:

$$R_w(\tau) = R \left[\sqrt{\tau^2 + \left(\frac{B}{V} \right)^2} \right], \quad (1)$$

где: B – ширина колеи автомобиля (м), V – скорость (м/с), τ – время (с).

Вычислив $R_w(\tau)$ с помощью преобразования Фурье можно получить взаимную спектральную плотность:

$$G_w(f) = 2 \int_0^{\infty} R_w(\tau) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot \tau) d\tau. \quad (2)$$

Таким образом, если знать статистические характеристики дороги, полученные по результатам замера высот неровностей одной колеи (т.е. знать функцию G), задаться скоростью движения автомобиля (V) и его колеиной базой (B), то можно сформировать модель пространственного дорожного воздействия.

Чтобы применить созданную модель воздействия к реальному автомобилю 6х6, необходимо учесть временное запаздывание между передним и задними мостами (т.е. одно и тоже сгенерированное воздействие будет прикладываться к разным колесам, но с задержкой по времени). При наличии запаздывания функция взаимной спектральной плотности равна [2]:

$$\begin{aligned} G_{ij}(f) &= G(f)e^{-i2\pi f\tau_{ij}}, \text{ если колеса одной колеи;} \\ G_{ij}(f) &= G_w(f)e^{-i2\pi f\tau_{ij}}, \text{ если колеса разных колей,} \end{aligned} \quad (3)$$

где τ_{ij} – время запаздывания между мостами i и j .

Используя представление комплексной формы через тригонометрическую, перепишем уравнения (3):

$$\begin{aligned} G_{ij}(f) &= G(f) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot \tau_{ij}) - iG(f) \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot \tau_{ij}); \\ G_{ij}(f) &= G_w(f) \cos(2\pi \cdot f \cdot \tau_{ij}) - iG_w(f) \sin(2\pi \cdot f \cdot \tau_{ij}), \end{aligned} \quad (4)$$

и упростим их:

$$\begin{aligned} G_{ij}(f) &= C_{ij}(f) - iQ_{ij}(f); \\ G_{ij}(f) &= C_{wij}(f) - iQ_{wij}(f), \end{aligned} \quad (5)$$

где $C_{ij}(f)$ и $C_{wij}(f)$ – синфазный спектр, $Q_{ij}(f)$ и $Q_{wij}(f)$ – квадратурный спектр.

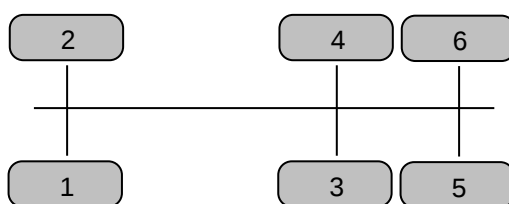


Рис. 6. Порядок нумерации точек воздействия

Чтобы использовать метод спектрального анализа необходимо представить воздействие (5) в виде матрицы. Если пронумеровать колеса начиная с переднего левого, затем переднее правое и т.д. (см. рис. 6), то для трехосного автомобиля, эта матрица будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} & G_{15} & G_{16} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} & G_{25} & G_{26} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{34} & G_{35} & G_{36} \\ G_{41} & G_{42} & G_{43} & G_{44} & G_{45} & G_{46} \\ G_{51} & G_{52} & G_{53} & G_{54} & G_{55} & G_{56} \\ G_{61} & G_{62} & G_{63} & G_{64} & G_{65} & G_{66} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где: $G_{ii} = G(f)$ – функция спектральной плотности микропрофиля, G_{ij} – функции взаимной спектральной плотности между i -ым и j -ым колёсами.

Приведем несколько наиболее характерных примеров определения элементов матрицы (6) при выбранном способе нумерации:

$$C_{12}(f) = G_w(f) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot \tau_{12}) = G_w(f);$$

$$Q_{12}(f) = G_w(f) \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot \tau_{12}) = 0;$$

$$C_{13}(f) = G(f) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot \tau_{13}) = G(f) \cdot \cos\left(2\pi \cdot f \cdot \frac{L_{13}}{V}\right);$$

$$Q_{13}(f) = G(f) \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot \tau_{13}) = G(f) \cdot \sin\left(2\pi \cdot f \cdot \frac{L_{13}}{V}\right);$$

$$C_{25}(f) = G_w(f) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot \tau_{25}) = G_w(f) \cdot \cos\left(2\pi \cdot f \cdot \frac{L_{25}}{V}\right);$$

$$Q_{25}(f) = G_w(f) \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot \tau_{25}) = G_w(f) \cdot \sin\left(2\pi \cdot f \cdot \frac{L_{25}}{V}\right),$$

где: L_{13} – расстояние между первым и вторым мостами (м), L_{25} – расстояние между первым и третьим мостами (м).

Трудности, которые могут возникнуть при формировании матрицы (6), обычно связаны с отсутствием в открытых источниках экспериментальных данных, необходимых для вычисления спектральной плотности $G(f)$. Поэтому остановимся подробнее на самом распространенном методе расчетного определения этой функции.

Существует несколько способов аппроксимации спектральной плотности микропрофиля дорожного полотна. Общепринятым как у нас в стране, так и за рубежом является следующее выражение [3]:

$$G(\lambda) = G_0 \left[\frac{\lambda}{\lambda_0} \right]^n, \quad (7)$$

или более точное:

$$G(\lambda) = G_0 \left[\frac{\lambda}{\lambda_0} \right]^{n_1}, \text{ при } \lambda \leq \lambda_0; \\ G(\lambda) = G_0 \left[\frac{\lambda}{\lambda_0} \right]^{n_2}, \text{ при } \lambda > \lambda_0, \quad (8)$$

где: λ_0 – минимальная волновая частота (rad/m), G_0 – значение спектральной плотности микропрофиля на частоте $\lambda = \lambda_0$. Волновая частота λ (rad/m) и частота f (Гц) связаны простой зависимостью:

$$f = \frac{\lambda \cdot V}{2\pi}.$$

На диаграмме с координатами $\lg \lambda - \lg G(\lambda)$ зависимость (8) представляет собой прямую линию, причем, аппроксимации микропрофиля дорог разного типа оказываются практически параллельны друг другу [4, 5]. В качестве подтверждения на рис. 7 показаны экспериментально полученные ОАО "УралАЗ" прямые 1 и 2, описывающие спектральную плотность микропрофиля дорог с асфальтовым и щебеночным покрытием. Результаты аппроксимации выглядят следующим образом:

– для асфальтобетонного покрытия:

$$G_1(\lambda) = 1.42 \cdot 10^{-4} \cdot \left[\frac{\lambda}{0.104} \right]^{-2.74} \text{ при } \lambda < 0.104, \\ G_2(\lambda) = 1.42 \cdot 10^{-4} \cdot \left[\frac{\lambda}{0.104} \right]^{-1.86} \text{ при } \lambda > 0.104; \quad (9)$$

– для щебеночной дороги:

$$G_1(\lambda) = 5.82 \cdot 10^{-5} \cdot \left[\frac{\lambda}{0.51} \right]^{-1.77} \text{ при } \lambda < 0.5, \\ G_2(\lambda) = 5.82 \cdot 10^{-5} \cdot \left[\frac{\lambda}{0.51} \right]^{-1.74} \text{ при } \lambda > 0.5; \quad (10)$$

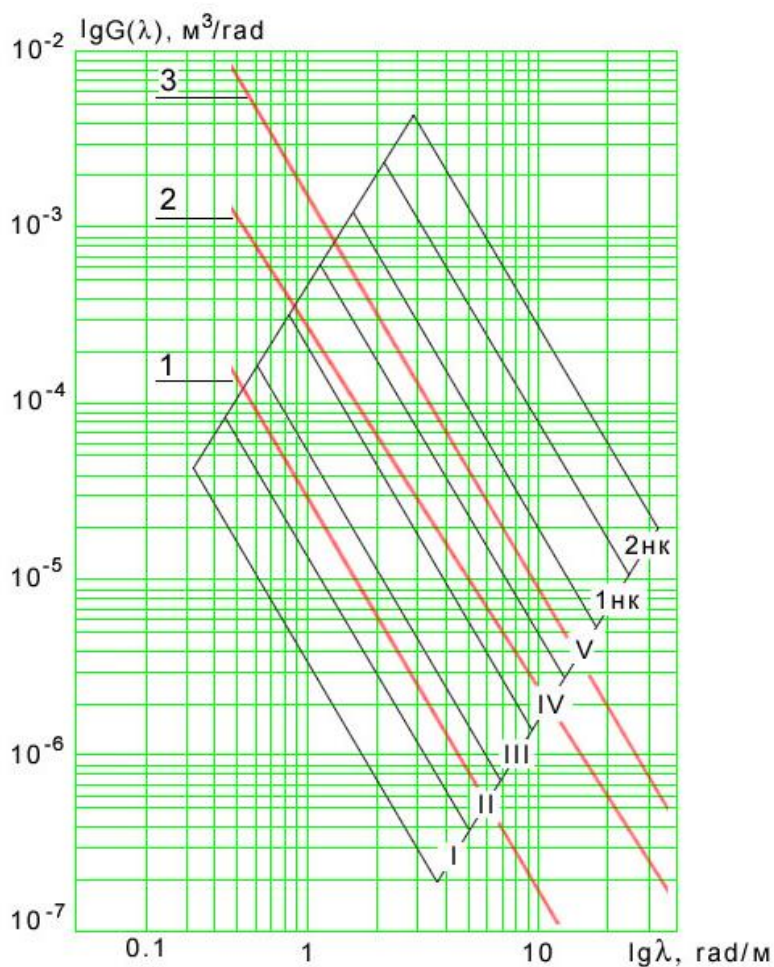


Рис. 7. Классификация типов дорог

Область спектральных плотностей микропрофиля, на которых возможна эксплуатация транспортных средств, будет ограничена параллелограммом (см. рис. 7) границы которого определяются:

1. Минимально возможной высотой неровностей микропрофиля дороги, достижимой при существующем уровне развития строительной техники;
2. высотой неровности, при которой невозможно движение транспортного средства;
3. Минимальной ($\sim 10\text{см}$) и максимальной ($\sim 100\text{м}$) протяженностью неровности (длиной волны), частота воздействия от которой при средних эксплуатационных скоростях движения на дорогах определенного типа соответствует полосе частот собственных колебаний поддресоренных и неподдресоренных масс автомобиля.

Полученный диапазон возможных значений спектральных плотностей микропрофиля был поделен на семь категорий дорог [4], позволяющий отразить характер их воздействия на долговечность несущих конструкций автомобиля:

- I – скоростные автомагистрали;
- II – автомагистрали;
- III – шоссе в плохом состоянии;
- IV – булыжные и гравийные дороги;
- V – грунтовые дороги;
- 1нк – лесные и сильно разбитые грунтовые дороги;
- 2нк – местность.

Границы, разделяющие дороги разных категорий, показаны на рис. 7 тонкими линиями.

Если необходимо получить функцию спектральной плотности микропрофиля дороги, а экспериментальные данные отсутствуют, достаточно задаться ее категорией, и варьируя значения коэффициентов уравнения (8), добиться того, чтобы прямая оказалась в требуемой области диаграммы. Именно так была получена функция $G(\lambda)$ грунтовой дороги V категории (прямая 3 на рис. 7):

$$\begin{aligned} G_1(\lambda) &= 8.42 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{\lambda}{0.104} \right]^{-1.8} \quad \text{при } \lambda < 0.104, \\ G_2(\lambda) &= 8.42 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{\lambda}{0.104} \right]^{-1.76} \quad \text{при } \lambda > 0.104; \end{aligned} \quad (10)$$

Колеса грузовых автомобилей имеют большой диаметр, и, как следствие, большое пятно контакта, которое сглаживает небольшие по протяженности неровности дороги. Поэтому при расчетах требуется учитывать сглаживающую способность шин и ограничивать минимальную длину волны, например, 20см, либо вычислять размер пятна контакта в зависимости от радиуса колеса, давления в шинах и нагрузки на ось автомобиля.

Это означает, что необходимо ограничить расчетный частотный диапазон в зависимости от длины пятна контакта $L_{\text{ш}}$ и скорости движения автомобиля V . Если ограничить длину волны воздействия длиной пятна контакта, то:

$$\frac{V}{f} \geq L_{ш},$$

а, ограничивая частоту, получим:

$$f \leq \frac{V}{L_{ш}}.$$

Исходя из всего сказанного выше, алгоритм численного построения дорожного воздействия в частотной области выглядит следующим образом:

1. Исходными данными являются: аппроксимация спектральной плотности $G(\lambda)$, скорость движения автомобиля V и положение точек воздействия (колейная база B и колесная база L);
2. С помощью обратного преобразования Фурье из $G(f)$ получают корреляционную функцию воздействия $R(\tau)$;
3. По методике Доддса (1) получают взаимную корреляционную функцию $R_w(\tau)$;
4. Преобразованием Фурье (2) из $R_w(\tau)$ получают взаимную спектральную плотность $G_w(f)$;
5. Используя выражения (4) формируют матрицы C и Q .

Оценка адекватности моделей (валидация)

1.4

Перед началом расчета усталостной долговечности следует оценить адекватность конечно-элементной модели конструкции и модели внешнего динамического воздействия, сравнив полученные расчетные результаты и имеющиеся экспериментальные данные.

В ходе дорожных испытаний, проведенных ОАО “УралАЗ”, были получены амплитудные спектры нормальных напряжений в шейке шаровой опоры, возникающие при движении автомобиля по нескольким типам дорог. Для проведения сравнительного анализа были расчетно определены аналогичные напряжения в узле конечно-элементной модели, соответствующем месту установки тензодатчиков.

Результаты эксперимента и расчета в виде амплитудных спектров напряжений представлены на рис. 8.

Анализ результатов позволяет сделать вывод об удовлетворительном совпадении расчетных и экспериментальных спектров, т.е. построенная модель достаточно адекватно отражает поведение конструкции при данных случаях нагружения.

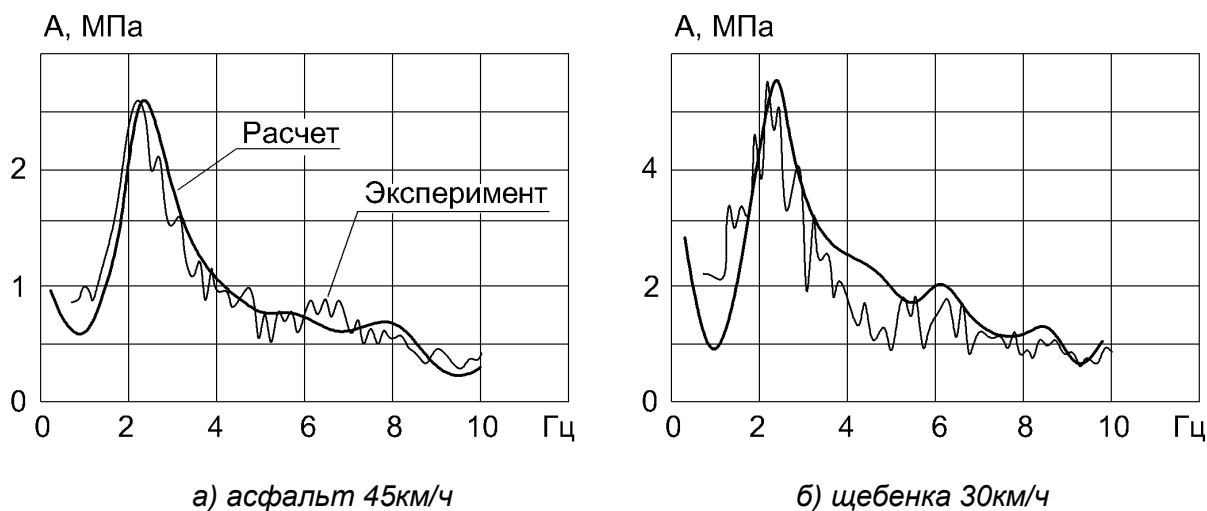


Рис. 8. Расчетные и экспериментальные амплитудные спектры напряжений при движении по различным типам дорог

Параметры нагружения

1.5

Анализ статистических данных о движении грузовых автомобилей по дорогам Российской Федерации [4] показывает, что пробег автомобиля по разным типам дорог распределяется согласно таблице 1.

Таблица 1

Распределение пробега автомобилей по видам дорог

Категория дороги	Относительный пробег грузовых автомобилей по дорогам РФ			
	Северо-запад Европейской части		Европейская часть	Восточный регион
	автомобили общего назначения	автомобили повышенной проходимости	автомобили общего назначения	автомобили общего назначения
I	—	—	0.87%	4%
II	48%	12.5%	60.5%	30.8%
III	52%	57.5%	37.7%	60.3%
IV	—	30%	0.93	4.9%

Расчет напряженно-деформированного состояния поворотной цапфы переднего моста автомобиля при движении по дорогам, указанным в таблице 4, будет осуществляться с использованием линейной модели и частотного метода анализа.

Для более точного учета особенностей эксплуатации автомобиля "Урал" желательно также рассматривать движение по лесным дорогам и в условиях бездорожья. Это возможно сделать только во временной области, и в этой статье не рассматривается.

Очевидно, что скорость движения трудно регламентировать количественно, поскольку она зависит от многих факторов. Статистические исследования движения автомобилей позволяют говорить о вероятной скорости движения автомобиля [4]. Для расчетов воспользуемся обобщенной качественной оценкой, связывающей тип автомобильной дороги и скорость движения (см. рис. 9).

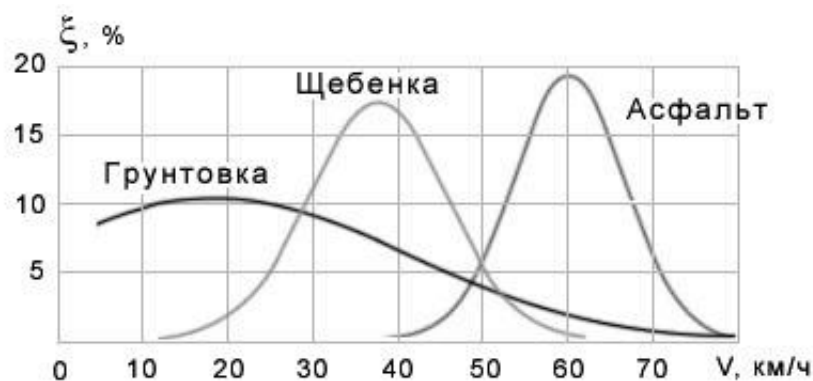


Рис. 9. Распределение скорости движения по времени

На рис. 9 показаны три кривые, полученные в результате экспериментальных исследований, и позволяющие сказать о скоростях движения автомобиля "Урал" по разным типам дорог следующее:

- изменение скоростей движения автомобиля хорошо описывается нормальным законом распределения;
- существует нижняя граница скорости движения, определяемая минимальной скоростью устойчивого движения автомобиля и верхняя граница, определяемая техническими возможностями автомобиля и дорожными условиями. По техническим возможностям минимальная скорость движения $V_{\min} = 5$ км/ч, а максимальная

$$V_{\max}^T = 75 \text{ км/ч.}$$

Используя эти данные, и считая закон распределения мгновенных скоростей движения усеченным нормальным, можно определить математическое ожидание средней скорости автомобиля для разных типов дорог, СКО средней скорости, и вычислить с их помощью долю ζ_i от общего пробега автомобиля с конкретной скоростью V_i . Значения ζ_i вычисляется как вероятность появления случайной величины в заданном интервале значений.

Для расчета ресурса требуется не относительный пробег при заданной скорости, а относительное время действия процесса нагружения ξ_i . К нему можно перейти, разделив относительный пробег ζ_i на скорость V_i , и пронормировав полученные величины (см. таблицу 6).

Таблица 6

*Относительное время действия процесса
нагружения при заданной скорости движения*

V_i , км/ч	$\xi_i = t_i / T$		
	асфальт	щебенка	грунтовка
5	–	–	0,326
10	–	–	0,182
15	–	–	0,129
20	–	0,047	0,098
25	–	0,111	0,076
30	–	0,193	0,058
35	–	0,239	0,043
40	–	0,209	0,031
45	0,031	0,129	0,022
50	0,114	0,055	0,015
55	0,247	0,017	0,010
60	0,300	–	0,006
65	0,209	–	0,004
70	0,081	–	–
75	0,019	–	–

Следующим шагом в прогнозировании ресурса автомобиля является расчетная оценка характеристик процесса изменения напряжений в исследуемых элементах конструкции для выбранных режимов эксплуатации (скоростей движения V_i).

В нашем случае напряжения в опасном сечении фланца поворотной цапфы при движении автомобиля с постоянной скоростью определяются в основном изгибом переднего моста в вертикальной плоскости, и поэтому определяющими долговечность будут нормальные напряжения, действующие в этом сечении.

Считая, что изменение скорости в диапазоне ± 2.5 км/ч не оказывает существенного влияния на напряженно-деформированное состояние, при помощи пакета ANSYS в частотной области спектральным методом были проведены расчеты. Для каждой скорости было получено сначала распределение спектральной плотности напряжений, а затем характеристики случайного процесса их изменения: среднеквадратическое отклонение, эффективная частота и коэффициент нерегулярности процесса.

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 7.

Таблица 7

Характеристики процесса изменения напряжения в опасном сечении поворотной цапфы переднего моста автомобиля "Урал"

V км/ч	Асфальт			Бульжник			Грунтовка		
	$S_{i,1}$	$i_{i,1}$	$f_{ei,1}$	$S_{i,2}$	$i_{i,2}$	$f_{ei,2}$	$S_{i,3}$	$i_{i,3}$	$f_{ei,3}$
5	–	–	–	–	–	–	12,6	0.642	3,794
10	–	–	–	–	–	–	16,4	0.636	3,772
15	–	–	–	–	–	–	19,2	0.635	3,786
20	–	–	–	7,3	0.642	3,79	21,2	0.641	3,77
25	–	–	–	8	0.643	3,737	23,5	0.642	3,718
30	–	–	–	8,7	0.652	3,697	25,4	0.651	3,678
35	–	–	–	9,2	0.646	3,769	27	0.645	3,75
40	–	–	–	9,6	0.637	3,83	28,3	0.636	3,809
45	3	0.59	3,998	10,1	0.642	3,79	29,6	0.641	3,77
50	3,2	0.573	3,924	10,5	0.622	3,819	31	0.621	3,797
55	3,3	0.568	3,754	11	0.625	3,707	32,4	0.624	3,688
60	3,5	0.572	3,59	–	–	–	33,8	0.649	3,565
65	3,7	0.573	3,538	–	–	–	35,4	0.661	3,554
70	3,8	0.569	3,529	–	–	–	–	–	–
75	4	0.564	3,522	–	–	–	–	–	–

Значение математического ожидания напряжений определялось из статического расчета. Поскольку для несущих систем автомобиля нагрузка от силы тяжести является средней величиной относительно которой непрерывно происходят колебания при дорожном воздействии, то к конечно-элементной модели в вертикальной плоскости было приложено ускорение свободного падения g_0 .

Для автомобиля "Урал" с грузом массой 6т максимальное нормальное напряжение в зоне концентрации серийного фланца поворотной цапфы составило 128МПа.

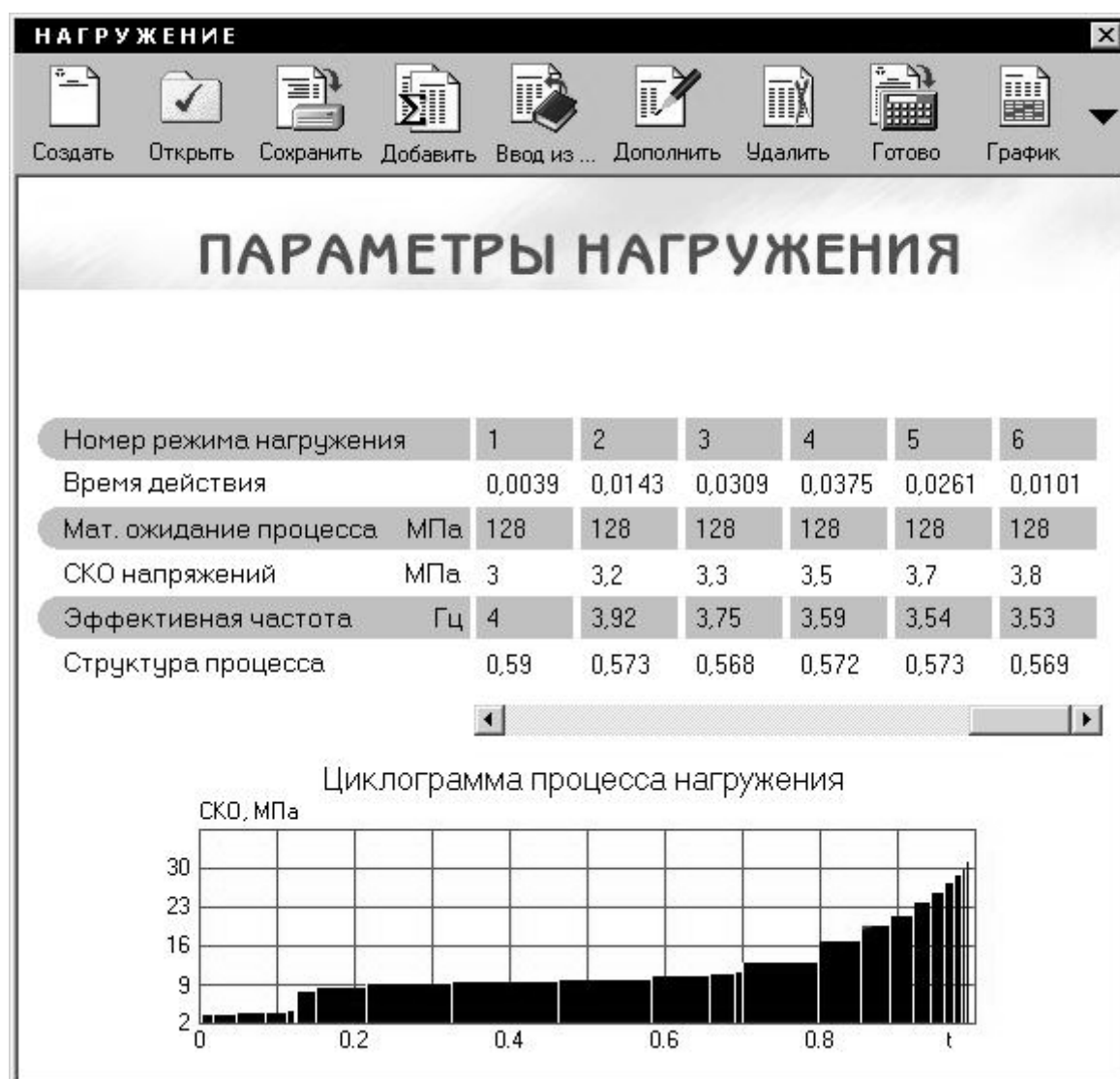


Рис. 10. Циклограмма процесса нагружения поворотной цапфы переднего моста автомобиля "Урал"

Расчет ресурса

1.6

Усталостные испытания передних мостов проводились на ОАО "КАМАЗ" и на ОАО "УралАЗ". Схема усталостных испытаний была одинакова и показана на рис. 11. Полученные результаты показаны на рис. 12 [6].

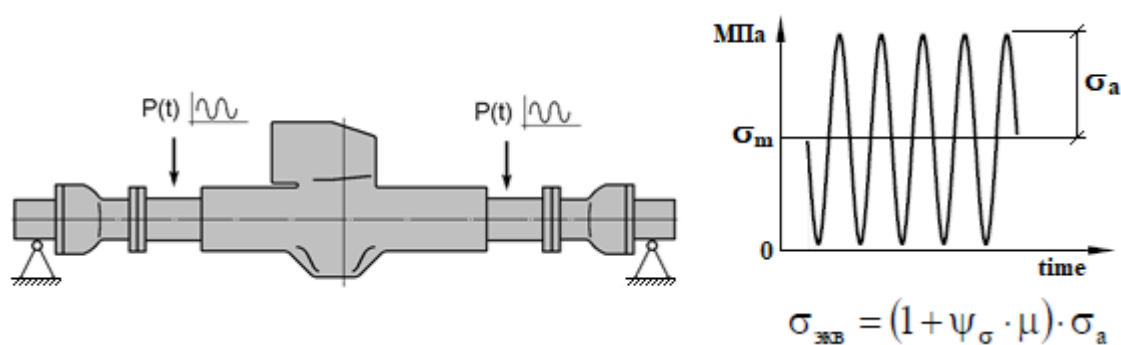


Рис. 11. Схема усталостных испытаний передних мостов автомобиля "Урал"

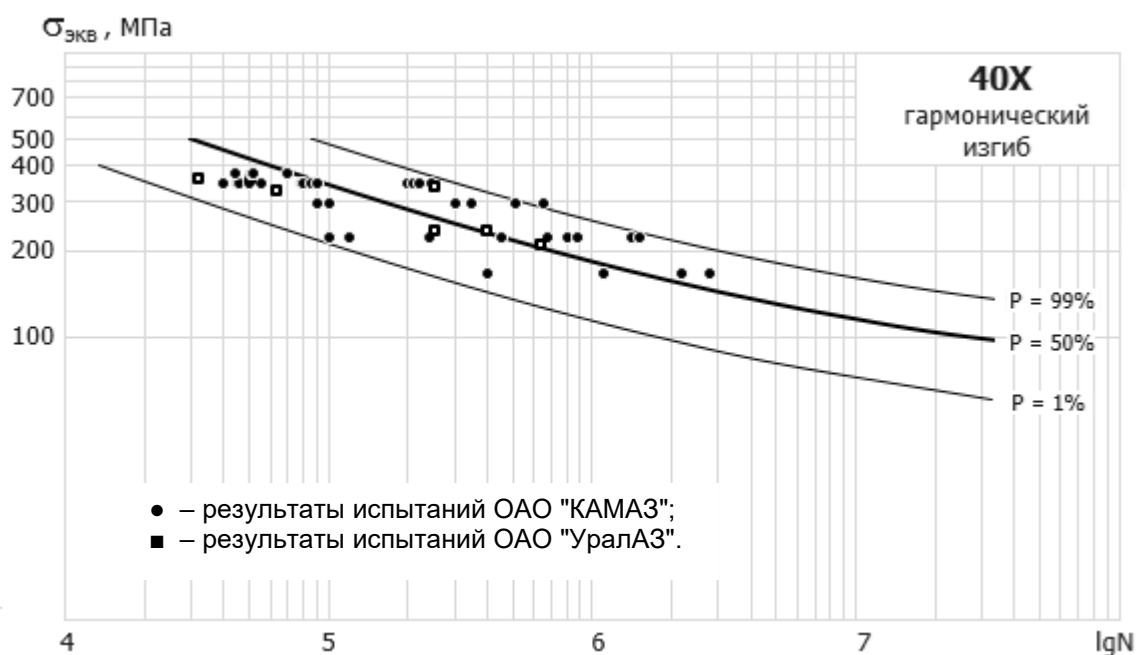


Рис. 12. Результаты усталостных испытаний передних мостов

Результаты статистической обработки показаны на рис. 13.

МАТЕРИАЛ

Назад Вперед Фильтр Найти Изменить Экспорт Вид Печать Готово

РЕЗУЛЬТАТЫ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

№ 31

40X

шаровая опора "КАМАЗа"

Эскиз образца

Исходная заготовка литье

Направление вырезки литье

Предел прочности 800 МПа

Способ нагружения чистый изгиб, $G = 1,414$, $f = 25$ Гц

Испытательное оборудование MTS

Количество испытанных образцов 36

Уравнение кривой усталости 1 $\lg N_o = 11,3 - 2,7 \lg (S - 43)$

Уравнение кривой усталости 2 $\lg N_o = 14,74 - 3,84 \lg S$

Коэффициент вариации $V_s = 0,15$

Рис. 13. Выбор кривой усталости

В результате проведенных на первом и втором этапах расчетов была получена обобщенная диаграмма усталости поворотной цапфы переднего моста и статистические характеристики процесса изменения напряжений в ее опасном сечении.

Для того чтобы вычислить ресурс этой детали остановимся на линейной гипотезе суммирования повреждений. На рис. 14 показаны результаты расчета усталостных свойств, полученные при помощи программы РЕСУРС.

Из полученных результатов видно, что если рассматривать только случаи стационарного случайного нагружения автомобиля "Урал", то гарантируемый ресурс переднего моста составит 10000 часов или немного больше 300 т. км.

При расчете не учитывались динамические нагрузки, возникающие при движении по лесным дорогам и пересеченной местности.

ПРОТОКОЛ

Расчет График Печать Свойства

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА РЕСУРСА

Предельное состояние

Материал..... 40X

Способ нагружения..... чистый изгиб

Уравнение кривой..... $Ig N_0 = 11,3 - 2,7 Ig(S - 43)$

Конструктивный коэффициент..... $K_\sigma = 1$

Коэффициент вариации..... $\nu_s = 0,15$

Необходимый ресурс:

в часах $T = 999,9$

в циклах $Ig N^* = 7,131$

Параметры нагружения

№	S , МПа	μ	Q	f , Гц	t	$N_{P \rightarrow 0}$
1	3	42,707	1,63	3,998	0,004	1,7E+8
2	3,2	40,568	1,61	3,924	0,014	1,5E+8
3	3,3	38,556	1,61	3,754	0,031	1,4E+8
4	3,5	36,765	1,61	3,59	0,037	1,4E+8
5	3,7	35,027	1,61	3,538	0,026	1,3E+8
6	3,8	33,418	1,61	3,529	0,01	1,2E+8
7	4	31,991	1,61	3,522	0,002	1,1E+8
8	12,6	10,198	1,68	3,794	0,098	1,1E+8
9	16,4	7,805	1,68	3,772	0,055	1,1E+9
10	19,2	6,671	1,67	3,786	0,039	2,1E+8

Ресурс

Вероятность разрушения %	~ 0	5	50
Время до разрушения час.	10268,6	23491,4	175318,5
Коэффициенты запаса	1,38		

Рис. 14. Протокол расчета ресурса

Литература

1. Доддс С. Дж., Воспроизведение в лаборатории эксплуатационных вибраций автомобиля// Журнал американского общества инженеров-механиков. – №2 – 1974.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540с.
3. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель/ Под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535с.
4. Научно-технический отчет “Исследование, анализ и разработка нормативов дорожных возмущений для оценки нагрузок и прочности конструкции автомобиля”, АЗ “Урал”, 2002.
5. Научно-технический отчет №95 – 85 «Исследование ровности дорожной поверхности на маршрутах большой протяженности», Предприятие П/Я М-5554, 1985.
6. О результатах испытаний на усталостную прочность передних мостов автомобилей “Урал”, Техническая справка №5403. АЗ “Урал”, 1997г.