

приборостроении. 2004, № 4, стр. 30 – 35.; 3. Почтенный Е.К., Кодолко Л.И., Парфенович Е.О. Анализ случайного многочастотного нагружения элементов конструкции. // Вести АН Беларуси № 4, 1997 г., с. 26 – 30.; 4. Почтенный Е.К., Кодолко Л.И., Горбацевич М.И., Капуста П.П., Минюкович С.М. Ускоренные испытания рамы автомобиля // Автомобильная промышленность № 7, 1998 г., с. 25 – 26.

УДК 629.3

С.М. Минюкович, А.В. Шмелев

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЯ РАМЫ АВТОМОБИЛЯ-САМОСВАЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В КАРЬЕРЕ

*Минский автомобильный завод,  
НИРУП “Белавтотракторостроение” НАН Беларуси  
Минск, Беларусь*

Как известно, работа автомобиля-самосвала заключается в периодическом повторении рабочего цикла по доставке груза к месту разгрузки и движение обратно. Сам рабочий цикл можно разделить на отдельные режимы, которые будут характеризовать определенный уровень нагруженности и повреждения, интересующего объекта. В нашем случае таким объектом являлась рама автомобиля, которая непосредственно воспринимает все нагрузки, действующие со стороны подвески и перевозимого груза. Очевидно, имеется два независимых направления, по которым формируются нагрузочные режимы. По наличию или отсутствию груза рабочий цикл автомобиля-самосвала можно разделить на два режима – движение с грузом и движение без груза. Нагрузки, действующие на раму, определяются состоянием или типом дорожного полотна. Поэтому, в нашем случае в зависимости от состояния дорожного полотна можно выделить следующие режимы: движение в карьере, движение по ровному асфальту, движение по разбитому асфальту. Кроме того, в некоторых случаях могут являться особо повреждающими режимы загрузки и разгрузки, поэтому они добавляются к рабочему циклу.

На рисунке 1 приведена схема рабочего цикла автомобиля-самосвала МАЗ-5516 с выделением нагрузочных режимов рамы.



Рис. 1. Схема рабочего цикла автомобиля-самосвала

Как видно из схемы, в результате наложения одного независимого режима на другой, получаем рабочий цикл, состоящий из следующих нагрузочных режимов: загрузка, движение в груженом состоянии по карьере, движение в груженом состоянии по разбитому асфальту, движение в груженом состоянии по ровному асфальту, движение в груженом состоянии по разбитому асфальту, разгрузка, движение в порожнем состоянии по разбитому асфальту, движение в порожнем состоянии по ровному асфальту, движение в порожнем состоянии по разбитому асфальту, движение в порожнем состоянии по карьере.

Для анализа нагруженности рамы автомобиля-самосвала МАЗ-5516 было проведено тензометрирование 50 опасных зон в условиях эксплуатации описанных схемой рисунка 1. Наиболее нагруженные, а, следовательно, и потенциально опасные с точки зрения усталости опасные зоны были выявлены по результатам расчета методом конечных элементов и результатам ускоренных стендовых испытаний.

По результатам обработки файлов с характеристиками нагруженности опасных зон на различных режимах было установлено, что самым нагруженным режимом оказался режим движения в груженом состоянии по карьере. Наиболее нагруженной и опасной по усталости оказалась опасная зона в месте приварки передней части усилителя к нижней полке левого лонжерона (район задних осей датчик №45).

Файл с характеристиками нагруженности данной опасной зоны содержит 16000 ординат напряжений в МПа с периодичностью 0,007 секунды, записанный при движении автомобиля – самосвала в груженом состоянии по  $\approx 0,5$  км карьера.

Характеристики сопротивления усталости опасной зоны были получены по результатам испытания локальных моделей:

$$\begin{aligned}\sigma &= 108,6 \text{ МПа,} \\ \nu_0 &= 93,82 \text{ МПа,} \\ \nu &= 68,63 \text{ МПа,} \\ N_0 &= 831 \text{ тыс.циклов,} \\ Q &= 9,02 \cdot 10^7 \text{ МПа-цикл.}\end{aligned}$$

Из исходной характеристики нагруженности опасной зоны были выделены пять частотных составляющих. Процесс выделения представлен на рисунке 2.

Процессы нагружения каждой частотной составляющей были обработаны методом полуциклов с последующим приведением циклов с различной асимметрией цикла к симметричному циклу [2]. Приведенные к симметричному циклу напряжения каждой частотной составляющей были выстроены в вариационные ряды [3]. Таким образом, было получено пять вариационных рядов приведенных напряжений или, иначе говоря, пять нагрузочных блоков эквивалентных по повреждающей способности частотным составляющим. Описание вариационных рядов приведенных напряжений с помощью распределения Вейбулла представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры распределения Вейбулла

№ частоты	Число циклов	$S_{max}$	$S_{min}$	$S_w$	$w$
1	97	168.985	0.003	14.603	0.621
2	69	180.448	1.816	10.022	0.501
3	42	183.202	3.013	19.724	0.596
4	20	177.686	0.378	40.736	0.746
5	7	167.982	13.679	59.288	0.696

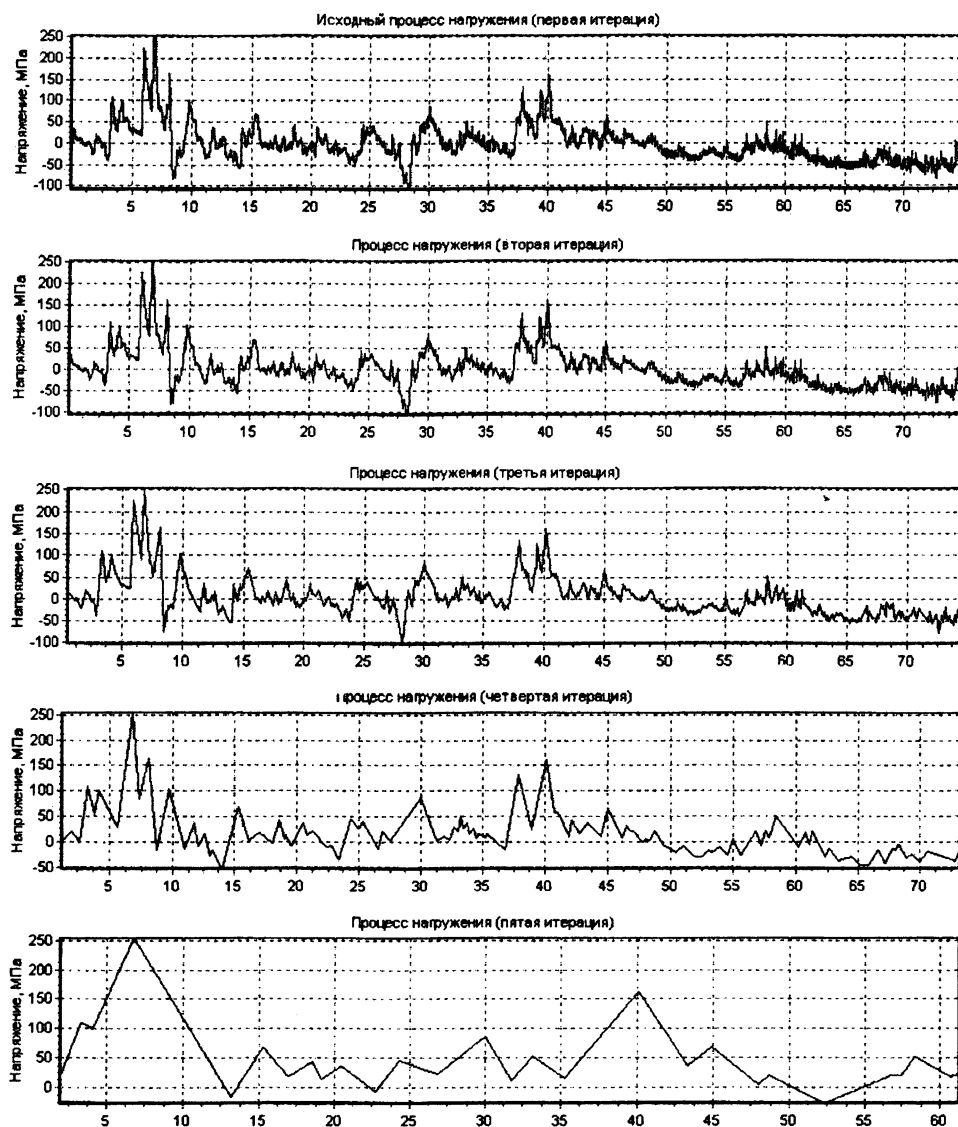


Рис. 2. Выделения частотных составляющих из исходного процесса нагружения

Для оценки долговечности использовались вариационные ряды 2, 3, 4 и 5 частотной составляющей. Вариационный ряд первой частотной составляющей не использовался из-за высокой частоты действующих напряжений (см. рис. 3 первая диаграмма).

Практически 62% действующих напряжений данной частотной составляющей имеет частоты в интервале от 67 до 72 Гц.

Анализируя частоты действующих напряжений второй частотной составляющей, очевидно, что эти напряжения вызваны колебаниями неподрессоренных масс автомобиля. Частоты действующих напряжений расположены в диапазоне 5 – 10 Гц. Частоты действующих напряжений третьей частотной составляющей вызваны колебаниями прдрессоренных масс автомобиля. Частоты действующих напряжений расположены в диапазоне 0,5 – 4 Гц. Частоты действующих напряжений четвертой частотной составляющей вызваны дорожными воздействиями (диапазон 0 – 1 Гц).

Частоты действующих напряжений пятой частотной составляющей вызваны изменением режимов движения, т.е. переходными режимами.

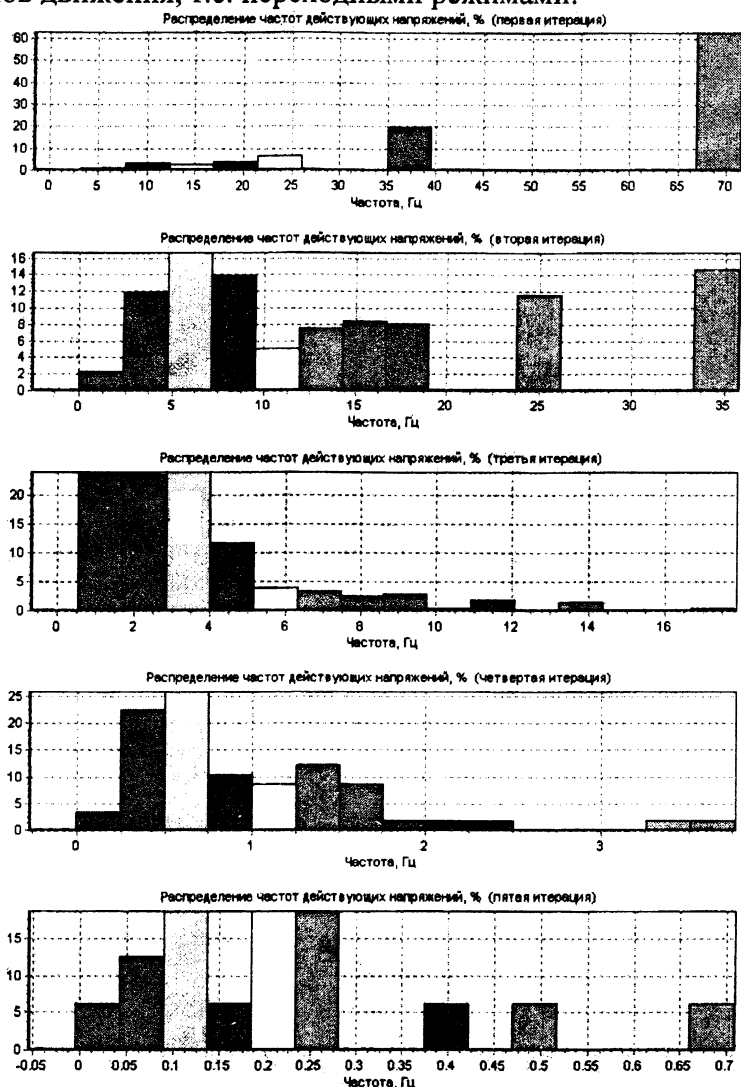


Рис. 3. Распределение частот приведенных напряжений в вариационных рядах

Расчет и суммирование усталостной долговечности производилось по методам, предложенным Почтенным Е.К. [1 - 3]. Усталостные долговечности для данной опасной зоны при действии только второй частотной составляющей  $L_2=80$  тыс.км, только третьей частотной составляющей  $L_3=85$  тыс.км, только четвертой частотной составляющей  $L_4=100$  тыс.км и только пятой частотной составляющей  $L_5=100$  тыс.км. Таким образом, суммарная усталостная долговечность при одновременном действии всех четырех частотных составляющих на данном режиме составит:

$$L_{\text{карьер}} = \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_4} + \frac{1}{L_5} = \frac{1}{80000} + \frac{1}{85000} + \frac{1}{100000} + \frac{1}{100000} \approx 22500 \text{ км.}$$

Расстояние от погрузки до места разгрузки автомобиля – самосвал составляло  $\approx 2,5$  км, т.е. рабочий цикл машины (место загрузки - место разгрузки и обратно)  $\approx 5$  км, а длина карьера составляла  $\approx 0,5$  км. Удельный показатель, характеризующий длительность движения груженого автомобиля – самосвал по карьере:

$$\beta_1 = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

Учитывая, что повреждающее действие других режимов намного меньше повреждающего действия при движении в карьере, получим значение усталостной долговечности для типового условия эксплуатации:

$$L_{\Sigma} = \frac{22500}{0,1} = 225000 \text{ км,}$$

т.е. в данных условиях эксплуатации усталостная долговечность рамы по выбранной опасной зоне составит 225 тыс.км.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Почтенный Е.К. Кинетическая теория механической усталости. -Минск: Наука и техника, 1973.-216 с.; 2. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин. – Минск, Наука и техника, 1983,246 с.ил.; 3. Почтенный Е.К. Кинетика усталости машиностроительных конструкций.-Минск, “Арти-Фекс”, 2002, 186 с. ил.

УДК 539.3

**А.О. Громыко, О.В. Громыко, М.А. Журавков, Д.Г. Медведев**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОБОЛОЧКИ С УЧЁТОМ ИНЕРЦИИ ВРАЩЕНИЯ**

*Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь*

Уравнения движения элемента тонкой цилиндрической оболочки с учетом инерции вращения имеют вид:

$$\begin{aligned} \nabla^4 u - \frac{\nu}{R} \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + \frac{1}{R} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial s^2} = - \frac{2(1+\nu)}{E} \mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[ \frac{1-\nu^2}{E} \mu \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \right. \\ \left. - \frac{3-\nu}{2} \nabla^2 u + \frac{\nu}{R} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{1-\nu}{2} \frac{I_2}{\mu R} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial s^2} \right]; \\ \nabla^4 v - \frac{2+\nu}{R} \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial s} - \frac{1}{R} \frac{\partial^3 w}{\partial s^3} = - \frac{2(1+\nu)}{E} \mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[ \frac{1-\nu^2}{E} \mu \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \right. \\ \left. - \frac{I_2}{\mu R} \frac{\partial^3 w}{\partial s \partial x^2} - \frac{1-\nu}{2} \frac{I_2}{\mu R} \frac{\partial^3 w}{\partial s^3} + \frac{1-\nu^2}{E} \frac{I_2}{R} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial s} \right) - \frac{3-\nu}{2} \nabla^2 v + \frac{1}{R} \frac{\partial w}{\partial s} \right]; \\ \frac{h^2}{12} \nabla^8 w + \frac{1-\nu^2}{R^2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = - \frac{2(1+\nu)}{E} \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \left\{ \left( \frac{1-\nu^2}{E} \mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{3-\nu}{2} \nabla^2 \right) \left[ \frac{w}{R^2} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{h^2}{12} \nabla^4 w + \frac{1-\nu^2}{E} \mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( w + \frac{I_1}{\mu} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{I_2}{\mu} \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \right) + \frac{\nu^2}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} + \frac{1-\nu}{2} \nabla^4 \left( w + \frac{I_1}{\mu} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{I_2}{\mu} \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \right) + \right. \\ \left. \left. + \frac{(1-\nu)(2+\nu)}{2R} \frac{I_2}{\mu R} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial s^2} - \frac{1-\nu}{2R} \frac{I_2}{\mu R} \frac{\partial^4 w}{\partial s^4} - \frac{1-\nu^2}{E} \frac{I_2}{R} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – осевой и окружной моменты инерции сечений единичных элементов оболочки;