

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДОЛГО- ВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Ассист. Д.В.ЗОРИН

Приведены результаты теоретического и экспериментального исследования усталостной долговечности образцов с использованием метода «дождя», метода «полных циклов» и предлагаемого метода, не требующего предварительной схематизации процесса нагружения. Сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными при различных видах нагружения позволяют сделать вывод о практической пригодности метода для прогнозирования усталостной долговечности деталей транспортных машин без схематизации процессов нагружения.

Results of theoretical and experimental researches of fatigue durability of samples based on the rainflow method, the full cycle analysis and author's method that needs no preliminary schematic form of a loading process are obtained. Comparisons of calculation results with the experimental data at various kinds of loading allowing us to draw a conclusion about practical suitability of this method for fatigue durability prediction on various types of transport mechanisms without any schematic form of loading processes.

Повышение надежности транспортных машин в процессе эксплуатации возможно на основе системы предупреждения отказов. С этой целью, как правило, принимают конструктивные меры по обеспечению статической прочности изделий (например, вводя предохранительные элементы в конструкцию), контролируют износ сопряженных деталей, используют вибродиагностическую аппаратуру, исследуя изменение спектрального «портрета» изделия и, тем самым, определяя появление трещин в деталях, неравномерность работы подшипников качения и др. Однако наиболее известные методы диагностики не позволяют оценить степень усталостного повреждения деталей в процессе эксплуатации и, следовательно, предупредить появление усталостных отказов. Контролировать текущее усталостное повреждение деталей при эксплуатации возможно, если использовать гипотезы суммирования повреждений в сочетании с непрерывным измерением действующих нагрузок (возникающих напряжений).

Как правило, при прогнозировании усталостной долговечности случайные процессы нагружения деталей заменяются некоторым схематизированным процессом, который по уровню вносимого усталостного повреждения должен быть эквивалентен реальному. Использование известных методов схематизации (полных циклов, «дождя», максимумов и др.), обоснованием которых служат, в основном, логические выводы, приводит к весьма существенной разнице прогнозируемых усталостных повреждений [1]. Кроме этого, при схематизации процессов нагружения приходится иметь дело либо со всей записью процесса, либо с продолжительным фрагментом, что накладывает ограничения на возможность непрерывного контроля накопленных усталостных повреждений.

Предложенная в [2] зависимость для оценки накопленного усталостного повреждения не требует предварительной схематизации процесса нагружения и позволяет рассчитывать усталостную долговечность и для нестационарных случайных процессов. При этом долговечность в соответствии с линейной гипотезой суммирования усталостных повреждений предлагается рассчитывать по формуле

$$\lambda = \frac{\frac{4}{m} \sigma_{-1}^m N_0}{\int_0^t |\sigma^{m-1}(t) \sigma'(t)| dt},$$

где m — показатель кривой усталости; σ_{-1} — предел выносливости при симметричном цикле; N_0 — количество циклов, соответствующее точке перегиба кривой усталости; $\sigma(t)$ — зависимость напряжения от времени; $\sigma'(t)$ — скорость изменения напряжений. Однако для оценки работоспособности метода необходимо проведение экспериментальных исследований.

В качестве объекта испытаний использовались образцы из алюминиевого сплава АМгб, представляющие собой полосы материала, изготовленные разрезкой листа на гильотинной машине без какой-либо последующей обработки. Дополнительные концентраторы напряжений не вводились. Нагружение образцов — изгиб в одной плоскости при консольном нагружении (рис. 1).

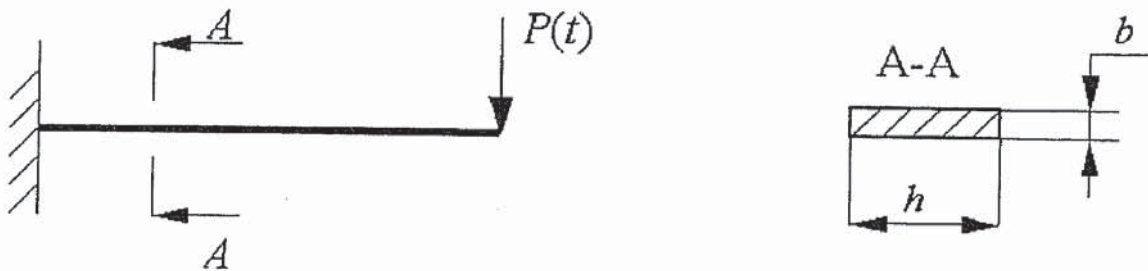


Рис. 1. Схема нагружения образцов

Экспериментальные исследования проводились в два этапа, определялись предел выносливости образцов $\sigma_{-1обр}$ и показатель кривой усталости m , а также усталостная долговечность испытываемых образцов при периодическом и случайном нагружениях.

Количество образцов и метод испытаний выбирались по ГОСТ [3, 4] при значении доверительной вероятности $\beta = 0,9$ и относительной погрешности $\varepsilon = 0,15$.

Установка для испытаний представляет собой электрогидравлическую систему. Электромоторы приводят в действие насосы гидравлической системы (насосная станция), питающей гидропульсаторы. На гидропульсаторах установлены золотниковые коробки с сервоуправлением и датчиковой аппаратурой (рис. 2), имеющие обратную связь с ПЭВМ посредством плат ввода-вывода.

Применение ПЭВМ в качестве элемента системы регистрирующего сигнал позволило получить сигнал в цифровом виде, что упростило последующую обработку данных. При этом фиксировалось перемещение штока гидропульсатора. Для контроля стабильности задаваемых нагрузок (деформаций) на образцы наклеивались тензодатчики. При испытаниях использовались фольговые тензодатчики с базой 10 и 1 мм. Датчики с базой 10 мм во время испытаний позволяли регистрировать напряжения без качественного изменения в измеряемых параметрах до баз 1000...2000 циклов (после чего приходилось периодически подстраивать контрольно-измерительные приборы) и выходили из строя при наборе ≈ 5000 циклов и более.

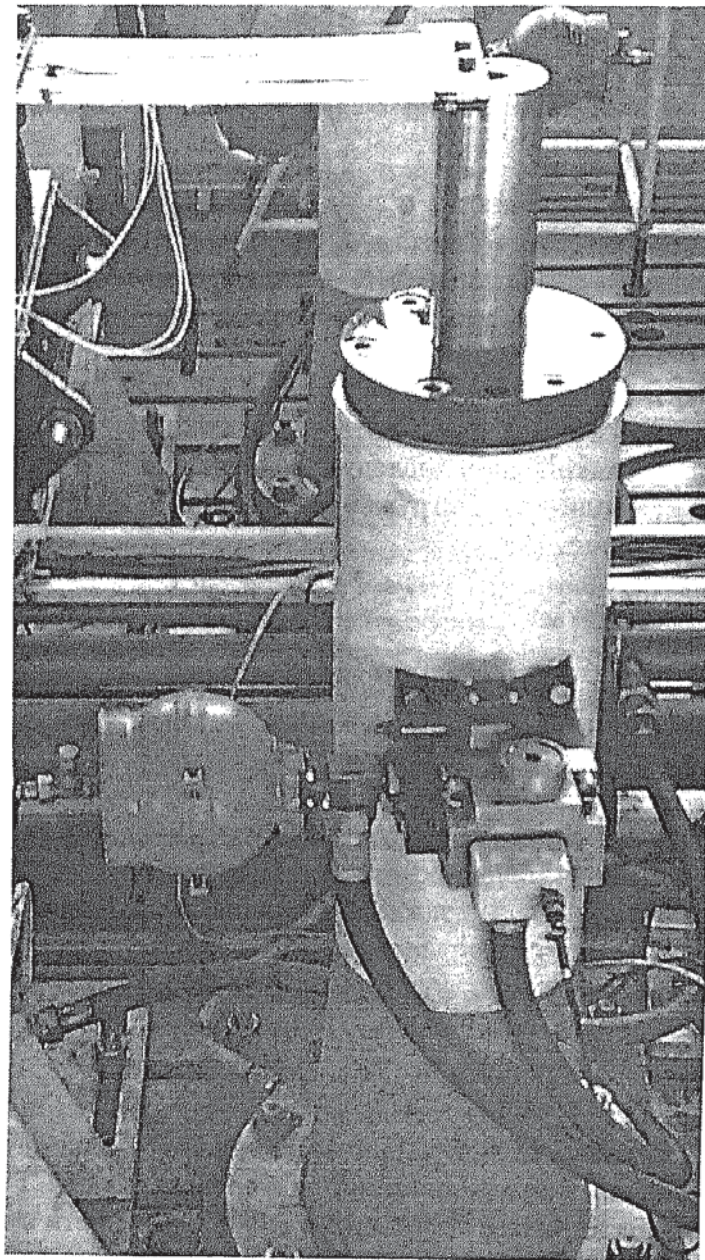


Рис. 2. Гидропульсатор с установленными образцами

В различных источниках [1, 5, 6] данные о точке перегиба кривой усталости N_0 и базе испытаний N_6 для алюминиевых сплавов разнятся достаточно сильно: от $0,5 \times 10^5$ до 10^6 и более циклов. При этом большое влияние оказывает обработка образцов и то, каким образом они были получены [7]. В эксперименте использовалась база испытаний для определения предела выносливости 10^5 циклов.

Для определения предела выносливости образцов $\sigma_{-1обр}$ и показателя кривой усталости m были проведены одноступенчатые испытания (испытания по Веллеру).

По разрезам кривых распределения долговечности образцов построены кривые усталости для различных вероятностей разрушения (рис. 3, 4). По кривым усталости, построенным по линейным трендам (рис. 3) (аппроксимация данных по методу наимень-

ших квадратов в соответствии с уравнением $y = ax + b$, где a — угол наклона, b — координата пересечения оси абсцисс) и по полиномиальным трендам с 3-ей степенью (рис. 4) (аппроксимация данных по методу наименьших квадратов, в соответствии с уравнением: $y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3$, где b, c_1, \dots, c_3 — константы), были определены средние значения предела ограниченной выносливости и их средние квадратические отклонения: средний предел ограниченной выносливости (по линейным трендам) $\bar{\sigma}_{-1, \text{лин}} = 170,633$ МПа; среднее квадратическое отклонение предела ограниченной выносливости (по линейным трендам) $s_{\sigma_{-1}} = 2,450$ МПа; средний предел ограниченной выносливости (по полиномиальным трендам) $\bar{\sigma}_{-1, \text{полином}} = 172,341$ МПа; среднее квадратическое отклонение предела ограниченной выносливости (по полиномиальным трендам) $s_{\sigma_{-1}} = 2,086$ МПа.

По окончании испытаний на усталостную долговечность для всех заданных уровней напряжений был определен показатель степени кривой усталости $m = 5,988$ для построенного участка кривой усталости.

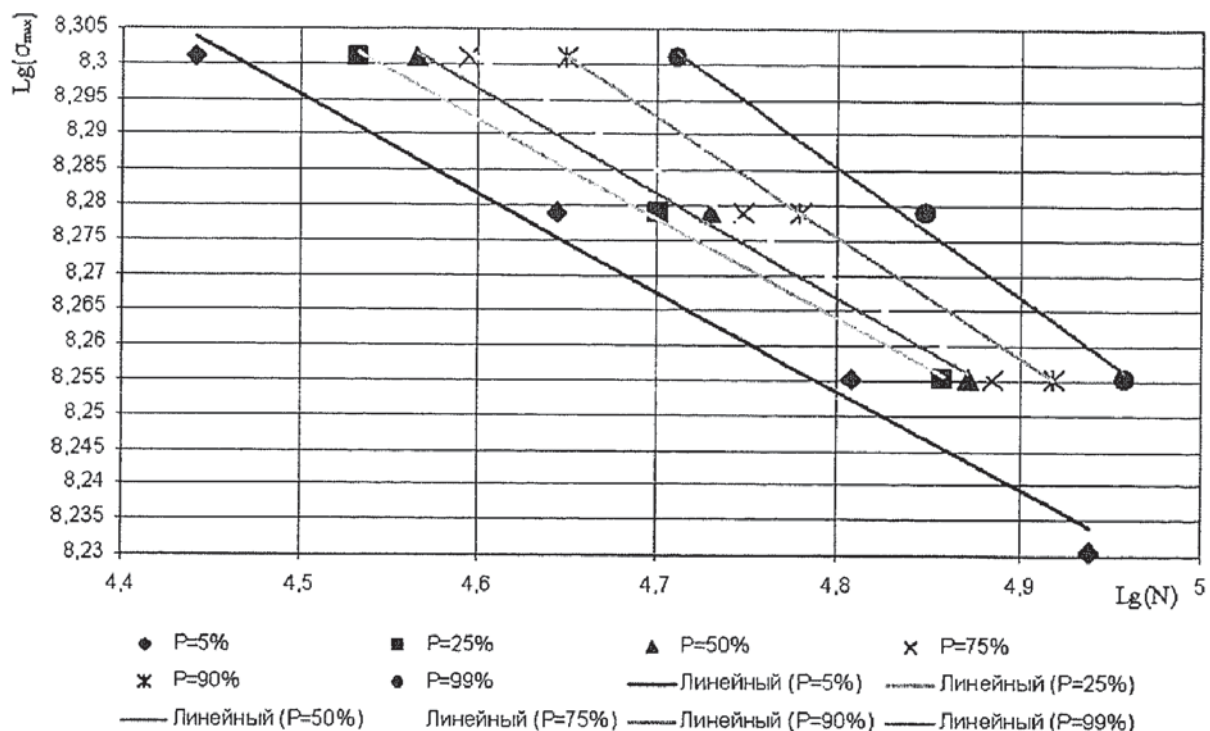


Рис. 3. Кривые усталости образцов для различных вероятностей разрушения P (с линейными трендами)

Для определения усталостной долговечности образцов при случайном нагружении были проведены испытания 30 образцов. Блок нагружения представляет собой реализацию случайной нагрузки и содержит 1000 ординат. Шаг по времени для отработки гидропульсатором составляет 0,02 с. На рис. 5 приведена запись процесса нагружения образцов за время отработки 1 блока нагружения.

По записям процессов нагружения, полученным в процессе эксперимента, при испытаниях по Веллеру и при случайном нагружении, были рассчитаны долговечности образцов по следующим методам: по предлагаемому методу расчета усталостной долговечности без схематизации процесса нагружения [2]; по методам со схематизацией процессов нагружения: метод «дождя»; метод полных циклов.

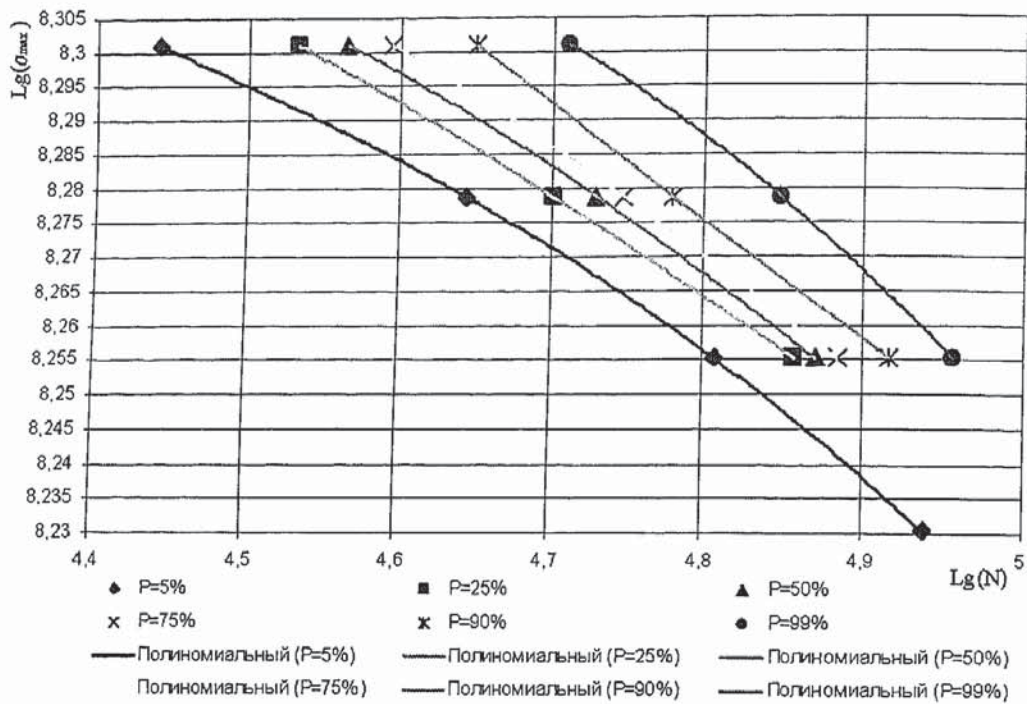


Рис. 4. Кривые усталости образцов для различных вероятностей разрушения P (с полиномиальными трендами)

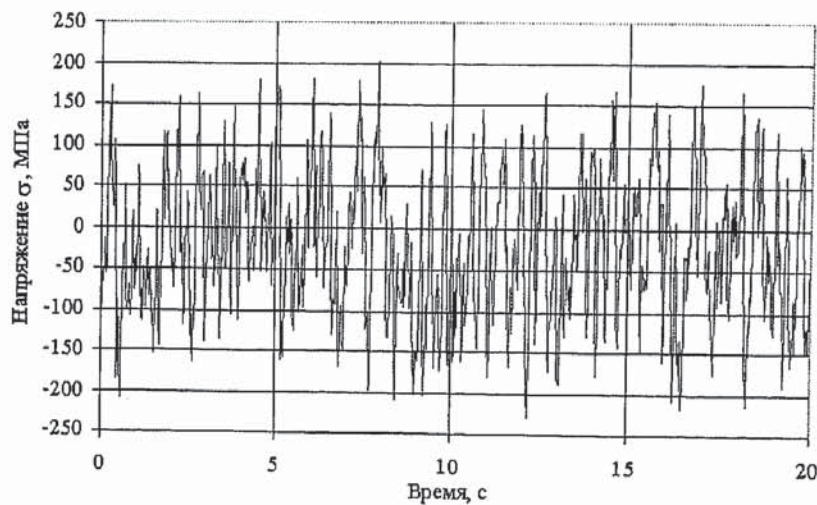


Рис. 5. Запись процесса нагружения

Усталостная долговечность образцов рассчитывалась по линейной гипотезе накопления усталостных повреждений при: показателе степени кривой усталости $m = 5,988$; базе циклов $N_6 = 10^5$ циклов; пределах выносливости образцов, рассчитанных по линейным ($\sigma_{-1обр} = \sigma_{-1лин} = 170,633$ МПа) и полиномиальным трендам ($\sigma_{-1обр} = \sigma_{-1полном} = 172,341$ МПа).

Результаты расчетов на усталостную долговечность при одноступенчатых испытаниях (по Веллеру) согласуются с экспериментальными данными (табл.). Относительное расхождение результатов по всем видам одноступенчатых испытаний не превосходит: по предлагаемой методике — 5%, при схематизации по методу «дождя» — 5,4%, при схематизации по методу «полных циклов» — 5,1%.

Таблица

Результаты расчета усталостной долговечности (в блоках нагружения) и их сравнение с экспериментальными данными

Метод расчета, вид нагружения	Линейный тренд	Полиномиальный тренд	Среднее по испытаниям	Интервал истинной долговечности		Относительная погрешность, %	
				мин	макс	Линейный тренд	Полиномиальный тренд
<i>Предлагаемый метод</i>							
Симметр. $\sigma_{\max} = 170$ МПа	98698,8	104763,9	.*	.*	.*	.*	.*
Симметр. $\sigma_{\max} = 180$ МПа	72599,1	77060,3	74290	63146,5	85433,5	2,3	-3,7
Симметр. $\sigma_{\max} = 190$ МПа	52521,5	55749	53436,7	45421,2	61452,2	1,7	-4,3
Симметр. $\sigma_{\max} = 200$ МПа	36398,3	38635,1	36780	31263	42297	1,0	-5,0
Случайное нагружение	2523,41	2678,5	3396,2	2886,7	3905,6	25,7	21,1
<i>Метод «дождя»</i>							
Симметр. $\sigma_{\max} = 170$ МПа	99052,1	105138,8	.*	.*	.*	.*	.*
Симметр. $\sigma_{\max} = 180$ МПа	72858,9	77336,1	74290	63146,5	85433,5	1,9	-4,1
Симметр. $\sigma_{\max} = 190$ МПа	52709,4	55948,5	53436,7	45421,2	61452,2	1,4	-4,7
Симметр. $\sigma_{\max} = 200$ МПа	36528,6	38773,4	36780	31263	42297	0,7	-5,4
Случайное нагружение	4167,1	4423,2	3396,2	2886,7	3905,6	-22,7	-30,2
<i>Метод «полных циклов»</i>							
Симметр. $\sigma_{\max} = 170$ МПа	98721,8	104788,4	.*	.*	.*	.*	.*
Симметр. $\sigma_{\max} = 180$ МПа	72616,1	77078,3	74290	63146,5	85433,5	2,3	-3,8
Симметр. $\sigma_{\max} = 190$ МПа	52533,8	55761,9	53436,7	45421,2	61452,2	1,7	-4,4
Симметр. $\sigma_{\max} = 200$ МПа	36406,8	38644,1	36780	31263	42297	1,0	-5,1
Случайное нагружение	4170,1	4428,5	3396,2	2886,7	3905,6	-22,8	-30,4

* — образцы не разрушились по достижении базы 10^5 циклов

Полученные экспериментальные данные и расчеты усталостной долговечности при случайном нагружении показали хорошую сходимость. По ГОСТ 25.507-85 экспериментальные методы оценки применимы при вероятности работы $P \approx 90$ %, если ошибка по долговечности составляет не более 100 % в безопасную сторону. Расхождение значений усталостной долговечности по предлагаемой методике и в эксперименте составляет 25,7% в безопасную зону. Метод «дождя» и метод «полных циклов» показали расхождение более 30 % в опасную зону (30,2 и 31,1 % соответственно).

Сравнение результатов экспериментальных и теоретических исследований при различных видах нагружения позволяет сделать вывод о практической пригодности предлагаемого метода расчета усталостной долговечности деталей транспортных машин без предварительной схематизации процессов нагружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / Под ред. Гусенкова А. П. — М.: Машиностроение, 1993. — 364 с.
2. Котиев Г. О., Вафин Р. К., Зорин Д. В. Метод прогнозирования усталостных повреждений деталей колесных и гусеничных машин // Известия Академии инженерных наук РФ. Транспортно-технологические машины и комплексы. — М.: — Н. Новгород: НГТУ, 2003. — Т. 5. — С. 230—235.

3. ГОСТ 25.502-79 «Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость».
4. ГОСТ 25.507-85. Методы испытаний на усталость при эксплуатационных режимах нагружения. Общие требования».
5. Сопротивление усталости элементов конструкций / А. З. Воробьев и др. — М.: Машиностроение, 1990. — 240 с.
6. Усталостная прочность и долговечность самолетных конструкций / Пер. с англ. под общей редакцией Эскина И.И. — М.: Машиностроение, 1965. — 589 с.
7. Кравчук В. С., Абу Айаш Юсеф, Кравчук А. В. Сопротивление деформированию и разрушению поверхностно-упрочненных деталей машин и элементов конструкций. — Одесса: Астропринт, 2000. — 160 с.

629.11.012

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВО ВТОРИЧНОЙ СИСТЕМЕ ПОДРЕССОРИВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Асп. ОМРАН КАХТАН, доц. Л. Ф. ЖЕГЛОВ

Рассмотрено решение нелинейной задачи в частотной области вибрационной безопасности многоосного автомобиля. Дана оценка возможности применения во вторичных системах подрессоривания виброизоляторов из полимерных композиционных материалов.

The nonlinear problem solution in frequency domain of the vibrating safety of the pluriaxial motor vehicle has been studied. The assessment of application opportunity in secondary systems of cushioning bumpers from polymeric composition materials has been done.

Повышение вибрационной безопасности человека-оператора и перевозимых грузов может быть осуществлено, если использовать вторичную систему подрессоривания соответствующих агрегатов и систем автомобиля [1—3]. Влияние виброизоляции груза на показатели его виброн нагруженности рассмотрим при пространственных колебаниях многоосного автомобиля и случайном возмущении от дорожной поверхности. В этом случае моделируется вибрация динамической системы с сосредоточенными параметрами, в которую входят рама (подрессоренная масса), кабина, двигатель, груз и колеса (неподрессоренная масса) с их системами виброизоляции. Тогда уравнения движения такой динамической системы при независимой подвеске колес имеют вид:

$$m_{\text{ис}} \ddot{z}_0 + \sum_{i=1}^{n0} \sum_{j=1}^{m0} k_{\text{нij}} \Delta z_{ij} + \sum_{i=1}^{n0} \sum_{j=1}^{m0} c_{\text{нij}} \dot{\Delta z}_{ij} = 0;$$

$$I_{\text{исy}} \ddot{\phi}_0 + \sum_{i=1}^{n0} \sum_{j=1}^{m0} k_{\text{нij}} \Delta z_{ij} l_{ij} + \sum_{i=1}^{n0} \sum_{j=1}^{m0} c_{\text{нij}} \dot{\Delta z}_{ij} l_{ij} = 0;$$

$$I_{\text{исx}} \ddot{\beta}_0 + \sum_{i=1}^{n0} \sum_{j=1}^{m0} k_{\text{нij}} \Delta z_{ij} B_{ij} + \sum_{i=1}^{n0} \sum_{j=1}^{m0} c_{\text{нij}} \dot{\Delta z}_{ij} B_{ij} = 0;$$

$$m_{\text{каб}} \ddot{z}_1 + \sum_{k=1}^{n1} \sum_{l=1}^{m1} k_{\text{кабkl}} \Delta z_{kl} + \sum_{k=1}^{n1} \sum_{l=1}^{m1} c_{\text{кабkl}} \dot{\Delta z}_{kl} = 0;$$

$$I_{\text{кабы}} \ddot{\phi}_1 + \sum_{k=1}^{n1} \sum_{l=1}^{m1} k_{\text{кабkl}} \Delta z_{kl} l_{kl} + \sum_{k=1}^{n1} \sum_{l=1}^{m1} c_{\text{кабkl}} \dot{\Delta z}_{kl} l_{kl} = 0;$$