

Н.Н. САРКИСЯН

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЖЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЛУЧАЙНОМ НАГРУЖЕНИИ

Սահմանված են տարբեր կարգի ճանապարհներով կառուցվածքի տեղափոխման դեպքում նրանում ծագող պատահական լարումների և ծող մոմենտների բաշխման սպեկտրալ խտությունների տեսքերը՝ կախված ճանապարհի կարգից և կառուցվածքի տեղափոխման արագությունից: Հետազոտված է պատահական գործընթացի շերտալայնության գործակցի կախվածությունը դիտարկված գործոններից:

Установлены виды спектральных плотностей распределения случайных напряжений и изгибающих моментов, возникающих при транспортировке конструкции по дорогам различного качества в зависимости от типа дороги и скорости движения транспорта. Исследована зависимость коэффициента широкополосности случайного процесса нагружения от рассмотренных факторов.

Ил.3. Библиогр.: 8 назв.

Spectral densities of random strain distribution and bending moments appearing in construction transportation on different roads depending on the road type and transport speed are determined. Bandwidth coefficient dependence of random loading process on the examined factors is investigated.

Ill. 3. Ref. 8

Развитие современных методов расчетно-экспериментальной оценки долговечности элементов конструкций при действии на них случайных сил основывается на тщательном изучении статистических характеристик усталости материалов. Решение такой задачи возможно при использовании методов статистической динамики, если известны динамические характеристики объекта [1,2].

Рассмотрим динамическую систему конструкция – транспортное средство, характерной особенностью которой является то, что она представляет собой, как правило, сложную колебательную систему, на вход которой подается случайное возмущение в виде функции, описывающей дорожные неровности [3].

Известно, что большинство динамических систем являются линейными или линеаризованными с постоянными параметрами [4]. Это позволяет использовать для расчета нагрузок и напряжений в элементах конструкции методы статистической динамики. Такие методы достаточно подробно рассмотрены в [1,2] при решении задач подрессоривания и плавности хода автомобилей и оценке динамических характеристик машиностроительных конструкций при случайном воздействии, а также в [5,7 и др.] при изучении прикладных методов теории случайных функций.

Применительно к рассматриваемой задаче процесс непрерывного воздействия неровностей пути можно рассматривать как нормальный стационарный случайный процесс, удовлетворяющий эргодической гипотезе [2]. Случайное воздействие на динамическую систему задается в аналитической форме корреляционной функцией. В общем виде такая функция имеет вид

$$\rho_x(\tau) = \sum_{i=1}^n \alpha_i e^{-\alpha_i |\tau|} \cos \beta_i \tau + \sum_{i=1}^m \alpha_i e^{-\alpha_i |\tau|} \sin \beta_i \tau, \quad (1)$$

где $\rho_x(\tau) = R_x(\tau) / R_x(0)$ - нормированная корреляционная функция; $R_x(\tau)$ - корреляционная функция случайной величины $x(t)$; $R_x(0)$ - дисперсия входного процесса; α и β - коэффициенты корреляционной связи; α_i - числовые коэффициенты, где $i = 1, 2, \dots, n, m$.

Для получения спектральной плотности воздействия достаточно взять от ее корреляционной функции интеграл Фурье:

$$S_x(\omega) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau, \quad (2)$$

что позволяет представить расчетные зависимости $S_x(\omega)$ в виде

$$S_x(\omega) = \frac{R(0)\alpha_{01}V}{n} \frac{V^2(\alpha_{01}^2 + \beta_{01}^2) + \omega^2}{[\omega^2 - V^2(\alpha_{01}^2 + \beta_{01}^2)] + 4V^2\alpha_{01}^2\omega}. \quad (3)$$

В соответствии с этим математическое описание основной задачи теории формирования нагруженности элементов конструкции от случайного воздействия может быть представлено в виде

$$S_\sigma(\omega) = W_\sigma(i\omega)^2 S_x(\omega), \quad (4)$$

где $S_\sigma(\omega)$ - спектральная плотность напряжений $\sigma(t)$ в данном элементе конструкции; $W_\sigma(i\omega)$ - амплитудно-частотная характеристика динамической системы.

Таким образом, решение основной задачи формирования нагруженности элементов конструкции в виде (4) позволяет определить следующие важные статистические характеристики:

- спектральную плотность процесса $S_\sigma(\omega)$;
- дисперсию или среднее квадратичное отклонение процесса изменения напряжений:

$$\sqrt{\langle \sigma^2 \rangle} = [1/\pi \int_0^\infty S_\sigma(\omega) d\omega]^{1/4}; \quad (5)$$

- функцию распределения плотности вероятности мгновенных значений напряжений в элементе конструкции. Если входной случайный процесс гауссовский, а динамическая система линейная, то функция эта запишется в виде

$$f(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\langle \sigma^2 \rangle}} \exp\left(-\frac{(\sigma - \langle \sigma^2 \rangle)^2}{2 \langle \sigma^2 \rangle}\right), \quad (6)$$

где $\langle \sigma \rangle$ - математическое ожидание процесса, которое определяется в результате статистического расчета конкретной реальной системы.

Форма спектральной плотности входного процесса нагружения элементов определяется динамическими свойствами самой конструкции и факторами внешнего воздействия. Вполне понятно, что спектральные плотности процесса при этом могут иметь самую разнообразную форму.

С точки зрения долговечности элементов конструкции, важным фактором является частотный состав случайного процесса, поскольку влияние частоты на долговечность и усталостную прочность материалов может быть существенным [8]. Кроме того, с увеличением широкополосности процесса усложняется его структура, а это, в свою очередь, может привести к существенным ошибкам в расчетном определении долговечности, связанным с использованием того или иного метода схематизации случайных процессов [1 и др.]. Для классификации случайных процессов по степени их широкополосности следует рассмотреть характерные виды энергетических спектров нагруженности конструкций при различных условиях их эксплуатации.

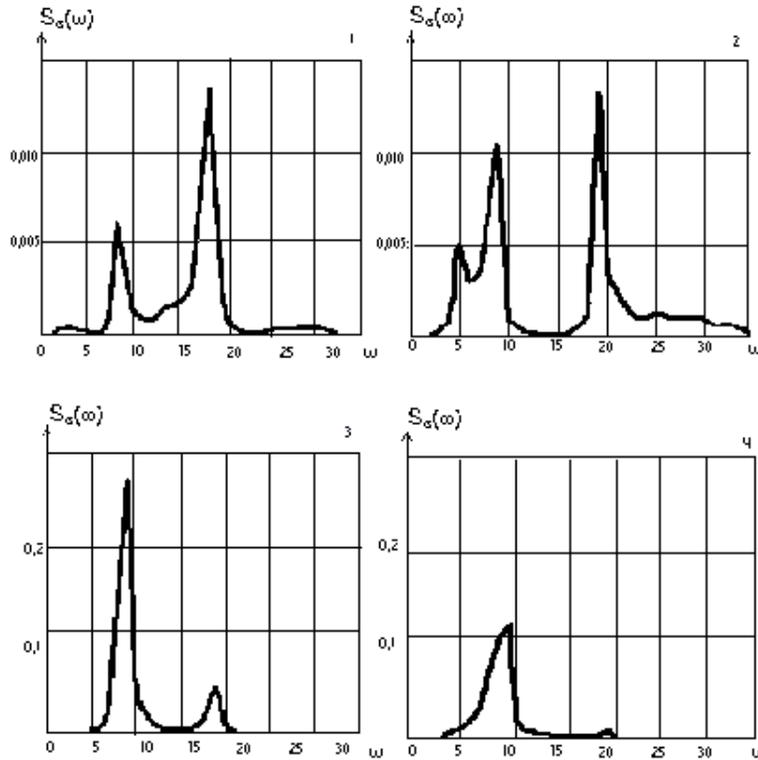


Рис.1. Цифры 1-4 соответствуют скоростям $V=4, 8, 12, 16$ м/с

Общепринятой характеристикой случайных процессов, дающей определенное представление об их структуре, является отношение среднего числа экстремумов процесса к среднему числу пересечений нулевого уровня $\beta = n_e / n_0$.

В случае, если реализации процесса отсутствуют, расчетное значение коэффициента β можно получить аналитически [5]. При $\beta \rightarrow 1$ структура простая, а сам процесс узкополосный, при $\beta \gg 1$ структура процесса усложняется, и сам случайный процесс является широкополосным.

В настоящей работе определены виды спектральных плотностей случайных напряжений и изгибающих моментов, возникающих в корпусе конструкции типа цистерна, транспортируемой автомобильным транспортом по дорогам различного качества. Исследование проведено в зависимости от скорости движения автомобиля. Для статистического анализа использованы данные наблюдений, приведенные в [3-4 и др.]. Показаны спектральные плотности напряжений и изгибающих моментов для опасного сечения конструкции цистерны при движении транспорта по асфальту (рис.1) и грунтовой дороге (рис.2).

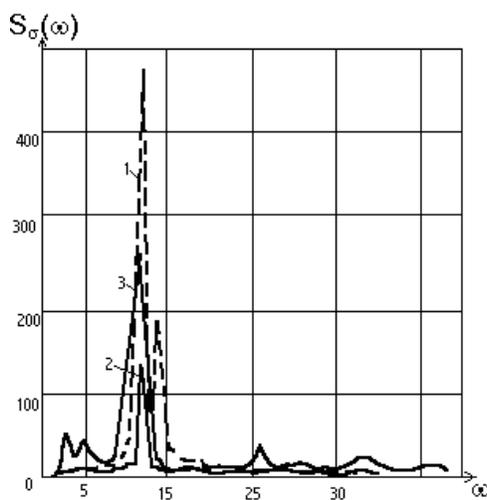


Рис.2. Цифры 1-3 соответствуют скоростям $V=4, 8, 12$ м/с

Как видно из рис.1 и 2, при различных скоростях движения $V=4...16$ м/с по асфальту, грунту и булыжнику ширина частоты диапазона действующих напряжений лежит в пределах $f=0,3...17$ Гц. Из анализа форм спектральных плотностей видно, что положение и величины пиков спектров определяются динамическими свойствами поддресоренных масс транспортного средства с изделием и временем запаздывания действия дорожных неровностей на колеса, которое зависит от скорости движения объекта.

Таким образом, для режимов транспортной эксплуатации ряда рассмотренных конструкций характерной особенностью случайных процессов нагружения их элементов является то, что они не могут быть в строгом смысле узко- или широкополосными. Значения коэффициента широкополосности, который является одним из параметров, характеризующих сложность структуры случайного процесса нагружения, определяются формой спектральных плотностей процесса и его частотным составом. При более подробном анализе форм спектральных плотностей нагрузок различных механических динамических систем достаточным

оказывается узкий диапазон действующих частот, верхние границы которых редко превышают 20 Гц. Исследована зависимость коэффициента широкополосности β случайного процесса нагружения для одного из сечений корпуса конструкции автомобиля от скорости движения V по дорогам различного качества покрытий (по асфальту, цементобетону, булыжнику, грунту), а также для сечения изделия при его транспортировке по железной дороге. Приведены некоторые кривые из полученных зависимостей $\beta \sim V$ (рис.3). Анализ полученных данных показывает, что ширина полосы пропускания энергетических спектров лежит в диапазоне $f=1,0 \dots 20$ Гц, а значение коэффициента широкополосности изменяется в пределах $\beta=1,1 \dots 2,32$ при движении с различными скоростями по дорогам различного качества.

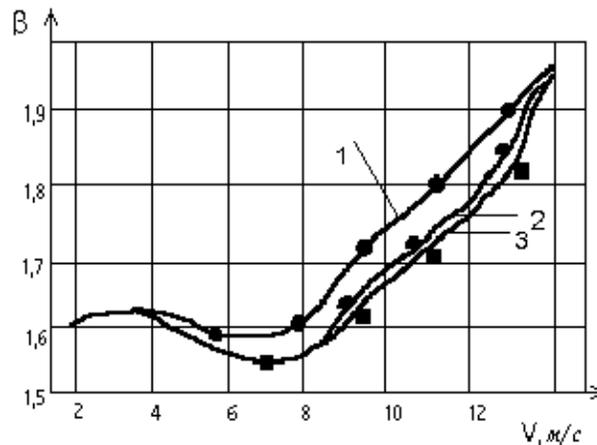


Рис.3. Цифры 1-3 соответствуют дорогам: асфальт, цементобетон, грунт

Таким образом, результаты статистического анализа показывают, что усталостные испытания в низкочастотном диапазоне нагрузок могут иметь большую практическую ценность, а случайные процессы нагружения, характерные для большинства силовых конструкций и их элементов, можно считать достаточно узкополосными. Это позволяет при расчетной оценке циклической прочности предположить, что частота нагружения не влияет на долговечность.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Болотин В.В.** Статистические методы в строительной механике. - М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1965. -343 с.
2. **Силаев А.А.** Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. -М.: Машгиз, 1972. -165 с.
3. **Проскуряков В.Б.** Динамика и прочность рам транспортных машин. - Л.: Машиностроение, 1972. -280 с.

4. **Грачева П.О.** Взаимодействие вагонов и железнодорожного пути. - М.: Транспорт, 1968. –207 с.
5. **Болотин В.В.** Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. –М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1971. – 255 с.
6. **Гусев А.С.** О распределении амплитуд в широкополосных случайных процессах при схематизации их по методу полных циклов // *Машиноведение*. - 1974. - № 1. - С. 30-50.
7. **Свешников А.А.** Прикладные методы теории случайных функций. - М.: Наука, 1968. – 460 с.
8. **Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М.** Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. - М.: Машгиз, 1963. –350 с.

ЕрАСИ

17.03.1998

Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2000. Т. LIII, № 1.

УДК 539.376:620.17

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

К.А. КАРАПЕТЯН, А.М. СИМОНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ И РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОНЕ С УЧЕТОМ ЕГО СТАРЕНИЯ

Օերացող բետոնի սողքի փորձական տվյալների մոտարկման հիման վրա ստացված են լարումների թուլացման հաշվման բանաձևեր՝ ժառանգականության, հոսունության, ամրապնդման, ձերացման և կինետիկ տեսությունների համաձայն: Բացահայտված է, որ ձերացման տեսությունը մարմնի ձերացման հաշվառմամբ ամենանպատակահարմարն է լարումների թուլացման գործնական հաշվարկների համար:

На основе аппроксимации экспериментальных данных о ползучести стареющего бетона построены формулы для расчета релаксации напряжений соответственно теориям наследственности, течения, упрочнения, старения и кинетической теории. Выявлено, что теория старения с учетом старения материала оказывается наиболее приемлемой для практического расчета релаксации напряжений.

Ил.3. Табл. 1. Библиогр.: 15 назв.

On the basis of experimental data approximation on aging concrete creeping, the formulas for stress relaxation calculation are constructed according to theories of heredity, flow, hardening, aging and the kinetic theory. It is discovered that the aging theory accounting aging of the material is more acceptable for stress relaxation calculation than other ones.

Илл. 3. Table 1. Ref. 15.

Для оценки напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных конструкций, подвергнутых предварительному напряжению, необходимы данные о релаксации напряжений в бетоне. Работы,