

Н.Е. САРКИСЯН, Н.Н. САРКИСЯН

ВЛИЯНИЕ ТИПА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЧАСТОТНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ТРАНСПОРТИРУЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ

Исследовано влияние типа дорожного покрытия (грунт, брусчатка, асфальт и асфальтобетон) и скорости движения транспортного средства (в пределах примерно 5; 10; 15 и 20 м/с) на изменение частотной зависимости и других основных характеристик спектра статистического распределения максимальных значений нормального напряжения в опасном сечении конструкции из композитного материала. Показано, что частота внешнего силового воздействия, обусловленная случайными неровностями покрытия дороги и скоростью движения, изменяется в пределах 0,3...17 Гц со смещением спектра к стохастической области максимальных напряжений. Построены, в частности, статистические кривые изменения плотности вероятности возникновения случайных напряжений при варьировании рассмотренных выше параметров исследования. Установлена область изменения значений коэффициента широкополосности, отражающего сложность структуры рассмотренного случайного процесса нагружения.

Ключевые слова: опасное сечение, нормальное напряжение, частотная зависимость, дорожное покрытие, изгибающий момент.

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций и их элементов при случайных воздействиях динамической нагрузки имеет важное значение в инженерном расчете их характеристик долговечности и надежности при различных условиях эксплуатации, зачастую имеющих стохастическую природу [1-3 и др.].

Целью настоящей работы является оценка изменения частотной зависимости спектра статистического распределения случайных напряжений в опасном сечении конструкции из композитного материала, возникающих при ее транспортировке по автомобильным дорогам и обусловленных неровностями дорожного покрытия. Рассмотрено влияние дорожного покрытия (грунт, брусчатка, асфальт и асфальтобетон) и скорости движения автомобильного транспорта (в пределах примерно 15; 30; 45 и 60 км/ч) на изменение частотной зависимости и других основных характеристик спектра статистического распределения максимальных значений нормального напряжения в опасном сечении конструкции. Выполнены исследования по классификации случайных нагружений конструкций при ее транспортировке, которые реально отражают механическое поведение материала при ее длительной эксплуатации. Из всего спектра случайных процессов рассмотрены нагружения, которые обусловлены неровностями дорожного покрытия, имеющими, естественно, вероятностный характер распределения. В качестве транспортируемого объекта выбрана тонкостенная цилиндрическая конструкция, намотанная из

стекловолоконистого полимерного композитного материала, имеющего ортогональную укладку армирующих слоёв.

В настоящей работе рассмотрен весьма значительный объём известных данных натурных измерений случайных изгибающих моментов, возникающих во времени в опасном сечении конструкции при движении автомобильного транспорта в период эксплуатации.

Определены характеристики статистических рядов измерений, которые выражают зависимость максимальных нормальных напряжений в опасном сечении конструкции от типа дорожного покрытия и скорости движения (транспортировки). Вычислены значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения рядов измерений, а также определена величина плотности вероятности возникновения случайных напряжений. Эти значения использованы для построения экспериментальных кривых распределения вероятности случайных напряжений. Анализ этих кривых даёт возможность выявить характер статистического распределения напряжений и осуществить классификацию режимов случайного нагружения с точки зрения частоты их воздействия на конструкцию.

Определены значения одной из важнейших спектральных характеристик случайного процесса, а именно, коэффициента широкополосности, позволяющего классифицировать сложные процессы случайного силового воздействия по частоте действия нагрузок.

Математическая обработка результатов натурных измерений по 20 вышеотмеченным статистическим рядам сгруппированных пар значений «случайное напряжение-частота воздействия» производилась по указанным выше типам дорожного покрытия и скорости движения на основе нормально-логарифмического закона распределения пределов прочности материала. Справедливость этого закона для различных композитных материалов в условиях статического и циклического нагружения была подтверждена ранее как другими исследователями, так и в наших предыдущих работах.

Поставленная здесь задача в общем случае решается на основе принципов статистической динамики упругих конструкций (см., например, [1]). В качестве рассматриваемого примера используется динамическая система расчётной схемы «конструкция-транспортное средство». Характерным свойством такой системы является передача на конструкцию нагрузок в виде случайной возбуждающей функции, отражающих влияние случайных неровностей дорожного покрытия.

Эта динамическая схема рассматривается в качестве линейной или линеаризованной колебательной системы.

Случайная функция нагружения задаётся в аналитическом виде в соответствии с формой известной корреляционной функции [4]. Подобная постановка задачи даёт возможность определить диапазон изменения частотности случайного нагружения в широком спектре варьирования условий силового воздействия.

Плотность спектральных характеристик рассматриваемого случайного процесса определяется динамическими свойствами конструкций и особенностями внешнего силового воздействия. С точки зрения, например, расчёта долговечности конструкций, важное значение имеет исследование и учёт функций частоты изменения случайной нагрузки в процессе длительной

эксплуатации. Здесь важно также точное определение величины коэффициента широкополосности случайного процесса, поскольку свойственная той или иной методике расчёта погрешность может привести к значительной ошибке всего метода оценки несущей способности конструкции.

В работе дана оценка коэффициента широкополосности случайного процесса нагружения транспортируемой конструкции в зависимости от типа дорожного покрытия и скорости движения. В качестве коэффициента широкополосности случайного процесса нами принято отношение количества экстремальных значений случайной функции к числу точек её пересечения с нулевым уровнем во всём процессе изменения рассматриваемой функции. Число указанных характерных точек изменения случайной функции определялось на основе обработки графиков натурных измерений, описанных выше.

Описание методики определения спектральных характеристик случайного процесса нагружения конструкции, а именно, величины математического ожидания, его среднеквадратического отклонения (дисперсии), частоты и плотности вероятности возникновения максимальных значений напряжения, а также коэффициента широкополосности, дано в работе [4].

На рис.1, в частности, для брусчатого типа покрытия дороги приведены статистические кривые изменения плотности вероятности возникновения максимальных значений нормального случайного напряжения, действующего в опасном сечении конструкции, в зависимости от скорости движения автомобильного транспорта.

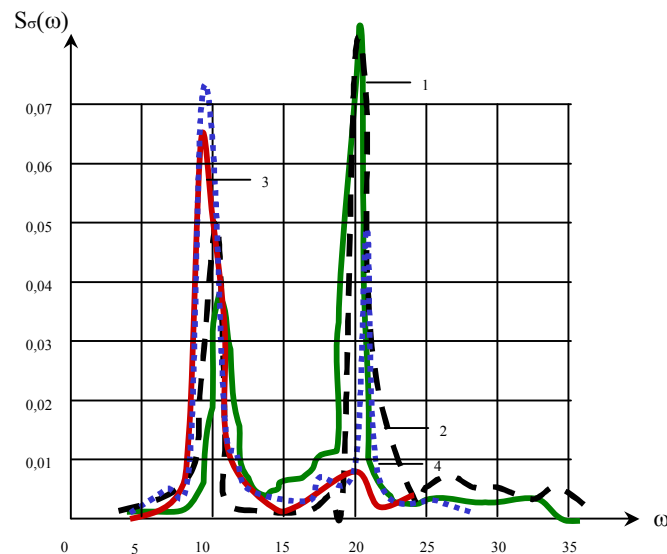


Рис.1. Плотность вероятности возникновения максимальных значений случайного нормального напряжения в опасном сечении конструкции при е, транспортировке по дороге с брусчатым покрытием. Цифры 1-4 на графиках соответствуют скоростям движения транспорта $V=4;8;12;16$ м/с

На рис.2 приведено семейство кривых, отражающих влияние типа дорожного покрытия на плотность вероятности возникновения максимальных нормальных напряжений в опасном сечении конструкции, когда неизменной остаётся скорость движения транспорта. Анализ этих кривых показывает, что частота возникновения максимальной величины нормального напряжения, действующего на конструкцию, для рассмотренных здесь типов покрытия автомобильных дорог изменяется преимущественно в пределах $f=0,3...17$ Гц. Полученный результат имеет важное значение в том смысле, что именно в указанном диапазоне изменения частот переменного нагружения, как правило, исследованы мало- и многоцикловые усталостные свойства композитных материалов и накоплен большой объём экспериментальных данных. Таким образом, указанный объём экспериментальных данных может быть эффективно использован для приближённой оценки повреждаемости транспортируемой конструкции за период её длительной эксплуатации.

В настоящей работе установлено, что отклонение максимальных значений плотности вероятности случайных напряжений происходит в сторону стохастической области больших значений частот, причём наблюдается существенное изменение форм энергетических спектров силового воздействия.

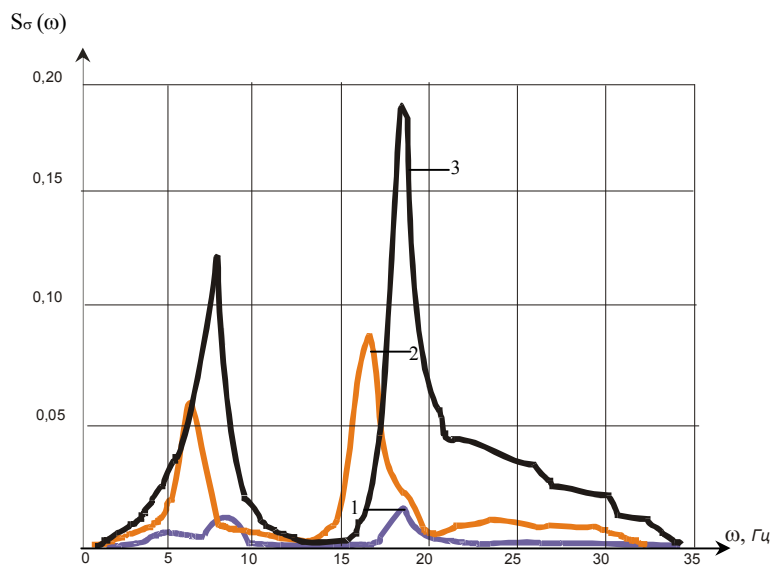


Рис.2. Влияние типа дорожного покрытия на плотность вероятности возникновения максимальных значений случайного нормального напряжения в опасном сечении транспортируемой конструкции. Цифры 1-3 на графиках соответствуют асфальтовому, брусчатому и грунтовому типам покрытия дороги

Анализ экспериментальных данных показывает, что значение коэффициента широкополосности случайного процесса в зависимости от скорости движения транспортного средства и типа дорожного покрытия колеблется в пределах 1,1...2,1.

Формы статистических кривых изменения плотности вероятности максимальных напряжений указывают на то, что высота и положение пиков графиков спектров определяются динамической массой подвижного средства и запаздыванием моментов времени достижения своих максимальных значений параметров, определяющих инерционные свойства транспортируемой конструкции и обусловленных неровностями дорожного покрытия, влияние которых, в свою очередь, зависит от скорости движения.

Таким образом, в исследованных нами режимах транспортировки конструкций особенность возникновения случайных напряжённых состояний состоит в том, что, строго говоря, рассматриваемые здесь случайные процессы по характеру не являются узко- или широкополосными. Значение коэффициента широкополосности, который, как известно, является важнейшим критерием выражения сложности структуры напряжённого состояния случайного процесса нагружения, определяется формой изменения плотности вероятности рассматриваемого явления и её частотным спектром (составом). Исследование показывает, что в рассмотренных нами динамических системах, подвергшихся случайным процессам нагружения, спектр частот силового воздействия ограничивается достаточно узкой областью колебаний, верхний предел которой не превышает примерно 20 Гц.

Случайные нагружения с низкой частотой характерны, например, для конструкций сельскохозяйственного машиностроения, в частности для автомобильных систем.

На рис.3 приведены некоторые кривые из полученных зависимостей $\beta \sim V$ (цифры 1-3 соответствуют дорогам: асфальт, асфальто-бетон и грунт).

В настоящей работе исследовано также изменение величины случайного изгибающего момента, возникающего в опасном сечении транспортируемой конструкции из композитного материала, в зависимости от типа покрытия автомобильной дороги и скорости движения транспорта. На рис.4, в частности, приведены результаты исследования, соответствующие грунтовому типу покрытия дороги.

Как уже отмечалось, в рассматриваемых нами случайных процессах силового воздействия преобладают такие переменные нагружения, частота которых большей частью не превышает 20 Гц. Как было показано нами в ранее опубликованных работах и исследованиях других авторов, изменение частоты нагружения даже в несколько раз в пределах так называемой многоциклового усталости незначительно влияет на циклическую прочность материала. Этот экспериментально установленный факт указывает на возможность построения некоторой эмпирической зависимости между параметрами долговечности материалов при повторно-статических, циклических и случайных режимах нагружения.

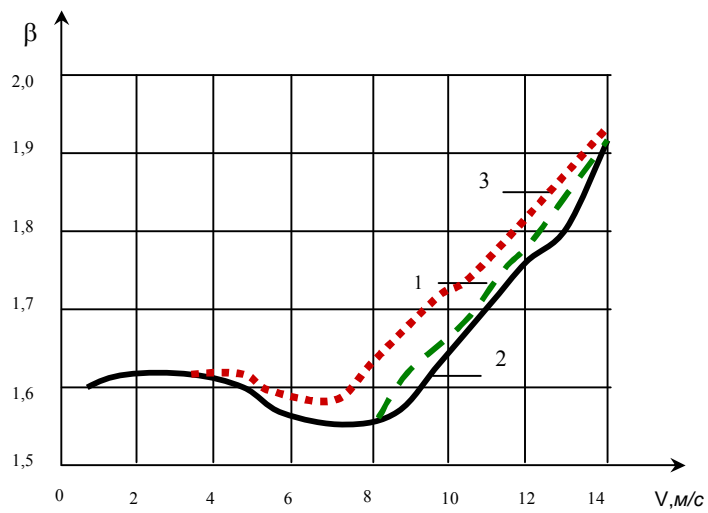


Рис.3. Зависимость коэффициента широкополосности случайного процесса нагружения конструкций от типа дорожного покрытия и скорости движения транспорта. Цифры 1-3 соответствуют дорогам с асфальтным, асфальто-бетонным и грунтовым покрытиями

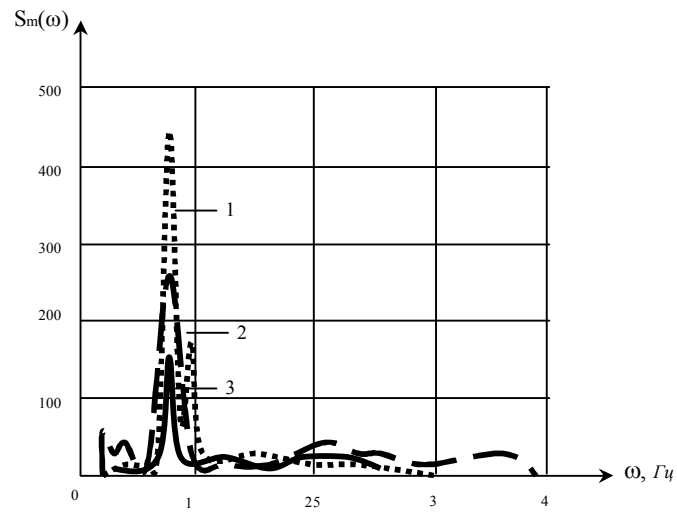


Рис.4. Спектральные плотности изгибающего момента в опасном сечении конструкции при движении по грунтовой дороге. Цифры 1-3 на кривых соответствуют скоростям движения $V=4, 8$ и 12 м/с

Результаты настоящей работы могут быть использованы в экспериментальных исследованиях усталостной прочности и долговечности материалов, в частности, при составлении компьютерных программ нагружения для

стендовых испытаний, эквивалентно отражающих разнообразие реальных условий силового воздействия на машины и механизмы за период их длительной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макеев В.П., Гриненко Н.И., Павлюк Ю.С.** Статистические задачи динамики упругих конструкций. – М.: Наука, 1984. – 250с.
 2. **Минасян Р.С.** Применение методов статистической динамики нелинейных систем к задачам диагностики рабочих органов почвообрабатывающих машин // Научные труды АрмСХА. Серия ТН. – Ереван, 2000. – Вып.4.
 3. **Гаспарян С.А., Саркисян Н.Н., Шемян Л.А.** О статистических моделях долговечности при случайном нагружении с пиковыми перегрузками // Известия НАН РА. Механика. – 2004. – Т. 57, No.3.- С.59-65.
 4. **Саркисян Н.Н.** Спектральные характеристики нагруженности элементов конструкций при случайном нагружении // Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН. – 2000. – Т.53, No.1. – С. 22-27.
- ЕГУАС. Материал поступил в редакцию 25.06.2005.

Ն.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ն.Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՃԱՆԱՊԱՐՀԱԾԱԾԿՈՒՅԹԻ ՏԵՍԱԿԻ ԵՎ ՇԱՐժՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԱՁԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՓՈԽԱԴՐՎՈՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՊԱՏԱՀԱՎԱՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ՏԱՐԲԱՊԱՏԿԵՐԻ ՀԱՃԱԽԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ԿԱՊԻ ՎՐԱ

Հետազոտված է ճանապարհածածկույթի տեսակի (բնահող, չարսվակասալ, ասֆալտ և ասֆալտաբետոն) և շարժման արագության (5, 10, 15, և 20 մ/վ) ազդեցությունը կոմպոզիտային նյութից պատրաստված փոխադրվող կառուցվածքի վտանգավոր հատույթում ծագող առավելագույն նորմալ պատահական լարումների վիճակագրական բաշխման տարրապատկերի հաճախականության կապի և որոշ այլ բնութագրիչների փոփոխության վրա: Ցույց է տրված, որ արտաքին ուժային ազդեցության հաճախությունը, պայմանավորված ճանապարհի պատահական անհարթություններով և շարժման արագությամբ, փոփոխվում է 0,3...17 Հց հաճախությունների միջակայքում, ընդ որում ստոխաստիկ բաշխման տարրապատկերը շեղված է լարման առավելագույն արժեքների կողմը: Մասնավորապես, կառուցված են պատահական լարումների ծագման հավանականության խտության ստոխաստիկ կորերը հետազոտության վերը նշված պարամետրերի փոփոխման դեպքում: Սահմանված են պատահական գործընթացի լայնաշերտության գործակցի փոփոխության տիրույթները:

Առանցքային բաներ. վտանգավոր հատույթ, նորմալ լարում, հաճախական կապ, ճանապարհածածկույթ, ծող մոմենտ:

N.E. SARGSYAN, N.N. SARGSYAN

INFLUENCE OF THE ROADWAY COVERING TYPE AND RATE OF MOTION ON STATISTICAL DISTRIBUTION SPECTRUM FREQUENCY DEPENDENCE OF TRANSPORTED STRUCTURE RANDOM STRESSES

The roadway covering type (ground, cube, asphalt and asphalt concrete) and the rate of vehicle motion influence (approximately 5, 10, 15 and 20 m/sec) on frequency dependence changing and other major spectrum characteristics of statistical distribution of normal maximum stress values in dangerous structure section made of composite material is studied. It is shown that the frequency of external power action leading to random uneven roadway covering and the rate of traffic is changing within 0,3...17 Hz, displacing the spectrum to the stochastic region of maximum stresses. The statistical curves for density changing of random stress arising probability for varying the abovementioned parameters are particularly constructed. The area of value changing the bandwidth-duration factor reflecting the structure complexity of the random loading process is established.

Keywords: dangerous section, normal stress, roadway covering, bending moment.