

УДК 531.36

Анализ динамики линейных моделей конструкций РКТ под действием случайных аддитивных и параметрических высокочастотных воздействий

Тушев Олег Николаевич

sm2aerospace@yandex.ru

SPIN-код: 9732-1625

Кондратьев Евгений Константинович^(*)

eugenykondratyev@yandex.ru

SPIN-код: 4416-3823

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача анализа динамического поведения линейной механической системы с N степенями свободы, которая является редуцированной моделью объекта, относящегося к РКТ. Случайное внешнее воздействие описывается стационарным процессом, корреляционная функция которого соответствует полосовому белому шуму и представлена в форме канонического разложения В.С. Пугачева. Поиск решения осуществляется в два приближения с использованием метода Н.Н. Боголюбова, т. е. представления движения в виде суперпозиции двух составляющих: быстрой (с частотами внешнего воздействия) и медленной (с частотами порядка собственных частот системы). Такой подход позволил получить уравнение медленного движения, а также выражение для определения постоянных составляющих отклонений от положения равновесия. Результаты иллюстрируются примером, в котором точность полученных результатов оценивается статистическим моделированием.

Ключевые слова: линейная система, медленное и быстрое движение, каноническое разложение, стационарная случайная вибрация

Введение. Эксплуатация различных образцов ракетно-космической техники (РКТ) и их наземных комплексов связана с высокими динамическими нагрузками, разнообразными по характеру и физической природе. Классическими примерами таких нагрузок могут служить, например, возмущения при включении и отсечке двигателя, а также вибрации при его работе или акустические воздействия на ракету-носитель в зоне максимального скоростного напора.

В инженерной практике параметрическими воздействиями на элементы конструкций РКТ часто пренебрегают. Тем не менее, в ряде случаев такое упрощение может привести к существенным ошибкам. В частности, это справедливо для задач анализа динамики амортизируемого объекта, размещенного в головной части шахтно-пусковой установки, в условиях воздушно-сейсмического нагружения.

Исследование механических систем под действием случайных аддитивных и параметрических воздействий является далеко не новой задачей. При этом подход к анализу такого рода моделей обычно основан на принципе гарантированного результата, что заведомо закладывает высокие требования к прочности конструкции. Иные подходы [1], в основном, основываются на

моделировании системы дифференциальных уравнений с помощью формирующего фильтра, что, например, существенно ограничивает класс рассматриваемых внешних воздействий. Таким образом, целью данной работы является анализ и разработка иной методики, позволяющей решить указанный недостаток.

Методы и материалы; результаты. Методы моделирования, такие как метод непрерывных дробей [2], метод скользящего суммирования или рекуррентный алгоритм авторегрессии скользящего среднего, также обладают рядом недостатков: отсутствие взаимно однозначного соответствия между непрерывной и дискретной моделями; ориентация на фиксированный шаг дискретизации, выбор которого теоретически не обоснован. Указанные методы наиболее эффективны только тогда, когда моделируемый процесс обладает быстро затухающей корреляционной функцией. В противном случае рекуррентные алгоритмы обладают высокой методической погрешностью [3]. В настоящей работе используется представление случайных процессов в виде канонических разложений [4].

Заключение. Показано, что высокочастотная случайная аддитивная и параметрическая вибрация генерирует постоянную составляющую в решении, а также трансформирует спектр собственных частот системы. Осреднение высокочастотных составляющих на периоде, что требуется в классическом методе Н.Н. Боголюбова, во втором приближении может быть заменено повторным разделением на медленное и быстрое.

Список источников

- [1] Gottwald G., Harlim J. The role of additive and multiplicative noise in filtering complex dynamics systems. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2013, no. 469, pp. 96–112.
- [2] Карташов В.Я., Новосельцева М.А. Цифровое моделирование стационарных случайных процессов с заданной корреляционной функцией на основе непрерывных дробей. *Управление большими системами*, 2010, № 31, с. 49–91.
- [3] Волгин В.В., Каримов Р.Н. *Оценка корреляционных функций в промышленных системах управления*. Москва, Энергия, 1979, 80 с.
- [4] Синицын И.Н., Синицын В.И. Аналитическое моделирование процессов в вольтерровских стохастических системах методом канонических разложений. *Системы и средства информатики*, 2019, т. 29, № 1, с. 109–127.