

УДК 517.938+621-752

Применение метода поэтапного интегрирования при исследовании движения динамической системы с переменной массой

А.В. Димов^а, Е.Ю. Донская^б

Иркутский государственный университет путей сообщения, Чернышевского 15, Иркутск, Россия

^аdimov.av@gmail.com, ^бdonskaya18@yandex.ru

Статья поступила 7.04.2015, принята 29.04.2015

В статье рассмотрен процесс включения в структуру виброзащитной системы дополнительных связей с целью направленного изменения динамических свойств системы целиком или ее отдельных звеньев. Дополнительные связи второго порядка реализуются с помощью винтовых механизмов. Такой колебательной системе присущи типично нелинейные свойства за счет наличия сил трения в винтовой паре. Применение к исследованию динамики рассматриваемого в статье устройства метод гармонической линеаризации положительных результатов не дает, так как этот метод применяется в предположении малой степени нелинейности и при условии изменения характеристики дважды за период. Дополнительная сложность данной задачи заключается в том, что величина приведенной массы гайки-маховика изменяется четырежды за период. Поэтому при исследовании динамики указанного устройства применяется метод поэтапного интегрирования (или метод припасовывания), состоящий в том, что линейные дифференциальные уравнения решаются в общем виде для каждого участка процесса, на котором они справедливы. Затем произвольные постоянные определяются так, чтобы «сшить» эти участки. Значения фазовых координат в конце каждого участка служат начальными условиями для следующего участка. Для данной колебательной системы с нелинейной дополнительной связью второго порядка определены выражения для двух амплитудно-частотных характеристик. Наибольший практический интерес представляет амплитудно-частотная характеристика, определяемая максимальными отклонениями массы m от положения статического равновесия. При уменьшении угла трения нелинейная характеристика стремится к линейной. Замена нелинейной модели на линейную приводит, в основном, к количественным погрешностям. Оценить эти погрешности можно с помощью относительной ошибки в определении частот характерных режимов движения (резонанс и динамическое гашение колебаний). Таким образом, если использовать линейную модель для проектных расчетов при конструировании колебательных систем, то ошибка за счет принятых упрощений не будет превышать 10–15%. В то же время во много раз снижается трудоемкость расчетов.

Ключевые слова: динамическая система, система с переменной массой, поэтапное интегрирование, дополнительные связи, амплитудно-частотная характеристика, виброзащитная система.

Phased integration method while studying the motion of a variable-mass dynamic system

A.V. Dimov^а, E.Yu. Donskaya^б

Irkutsk State Transport University; 15, Chernishevsky St., Irkutsk, Russia

^аdimov.av@gmail.com, ^бdonskaya18@yandex.ru

Received 7.04.2015, accepted 29.04.2015

The article describes integration process of additional couplings into the structure of vibration system to change directly dynamic properties of the system in whole or its individual units. Additional couplings of the second order are implemented by means of screw mechanisms. Such an oscillating system is typically characterized by non-linear properties due to the friction forces in a screw pair. The use of harmonic linearization method does not give positive results for studying the dynamics of the machine presented in the article. This method is used under the assumption of a small degree of nonlinearity and provided that characteristics change twice over the period. Additional complexity of the problem lies in the fact that the value of the reduced mass of the screw-flywheel changes four times over the period. Therefore, while studying the dynamics of the machine mentioned, the method of phased integration (or fitting method) is used. The method is that the linear differential equations are solved in a general form for each section of the process in which they are valid. Then, the arbitrary constants are defined as to couple these areas. The values of the phase coordinates at the end of each section are the initial conditions for the next segment. Expressions for two amplitude-frequency characteristics have been defined for this oscillation system with non-linear additional coupling of the second order. The greatest practical interest is the characteristic, determined by maximum m-mass deviation from static equilibrium. By reducing the friction angle, non-linear characteristic tends to be linear. Changing non-linear model on a linear one generally comes to quantitative errors. To assess these errors is possible by using a relative error when determining frequencies of specific motion modes (resonance and dynamic vibration damping). Thus, when constructing oscillatory systems, the error, due to the simplifications made, will not exceed 10-15% if we use a linear model for design calculations. At the same time, calculation complexity reduces by many times.

Key words: dynamic system; variable-mass system; gradual integration; additional couplings; amplitude-frequency characteristic; vibration-protection systems.