

численных методов. Получены многочисленные результаты численного моделирования теплового состояния КМ в условиях их термического разрушения при высоких температурах.

Далее приводятся результаты численного моделирования тепломассопереноса в анизотропных композиционных материалах на основе разработанного комплекса программ, реализующего разработанную комплексную математическую модель.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 20-08-00880).

УДК 519.71, 51-74, 681.5, 303.732.4, 62.752; 621.534; 629.4.015

О ВОЗМОЖНОСТЯХ КОРРЕКЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С. В. ЕЛИСЕЕВ, И. С. СИТОВ, Р. С. БОЛЬШАКОВ, А. В. ЕЛИСЕЕВ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Вибрационные технологические машины широко используются в различных производствах [1–3]. Реализация вибрационных технологических процессов требует решения ряда специфических задач динамики, характерных для механических колебательных систем. Значимое место среди машин, обеспечивающих вибрационные технологические процессы, занимают вибрационные стенды с рабочими органами в виде протяженных твердых тел. Вопросы формирования вибрационных полей в форме распределения амплитуд колебаний точек рабочего органа рассмотрены в работах по прикладной теории колебаний в приложениях к проблемам вибрационного перемещения, транспортирования, организации специальных режимов соударения и формирования эффектов модификации свойств поверхности деталей сложной формы [1, 4–5]. Необходимость решения вопросов повышения производительности и динамического качества вибрационных технологических машин стимулирует поиск и разработку способов решения специфических задач обеспечения надежности и безопасности эксплуатации технических объектов, аппаратуры и оборудования в условиях интенсивных динамических нагружений [6–8].

В докладе представлена оригинальная научно-методологическая позиция, реализуемая в рамках методов структурного математического моделирования, ориентированная на разработку технологии введения дополнительных связей в механическую колебательную систему в виде инерционно-упругой цепи с регулируемыми элементами.

1 Принципиальная схема технологического объекта может быть приведена к виду расчетной схемы механической колебательной системы с двумя степенями свободы (рисунок 1).

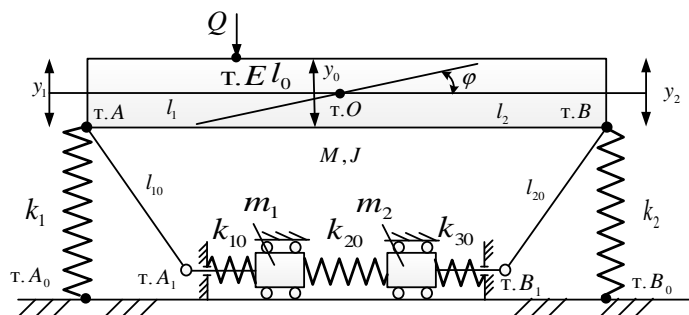


Рисунок 1 – Расчётная схема вибрационной технологической машины

2 Система состоит из твердого тела с массой M и моментом инерции относительно центра масс (т. O , рисунок 1) J . Центр масс находится на расстояниях l_1 и l_2 до концов твердого тела (т. A , B). Возбуждение колебаний относится к силовому типу и реализуется приложением гармонической силы Q в т. E , смещенной относительно центра масс на плечо l_0 .

3 Для оценки динамических свойств системы рациональным представляется переход к структурным математическим моделям. В этом случае механической колебательной системе (рисунок 1) сопоставлена структурная схема эквивалентной в динамическом отношении системы автоматического управления, дифференциальные уравнения движения при нулевых начальных условиях переводятся преобразованиями Лапласа в систему в операторной форме:

$$\bar{y}_1 \left[(Ma^2 + Jc^2 + m_1 a_{01}^2) p^2 + k_1 + k_{10} a_{01}^2 + k_{20} a_{02}^2 \right] - \bar{y}_2 \left[(Jc^2 - Mab) p^2 - k_{20} a_{01} a_{02} \right] = \bar{Q}(b + c_1), \quad (1)$$

$$\bar{y}_2 \left[(Mb^2 + Jc^2 + m_2 a_{02}^2) p^2 + k_2 + k_3 a_{02}^2 + k_2 a_{01} a_{02} \right] - \bar{y}_1 \left[(Jc^2 - Mab) p^2 + k_2 a_{01} a_{02} \right] = \bar{Q}(a - c_1), \quad (2)$$

где $p = j\omega$ – комплексная переменная ($j = \sqrt{-1}$); значок \leftrightarrow над переменной означает ее изображение по Лапласу [7, 8].

4 Наглядное представление о динамических свойствах системы даёт структурная математическая модель (структурная схема), приведённая на рисунке 2.

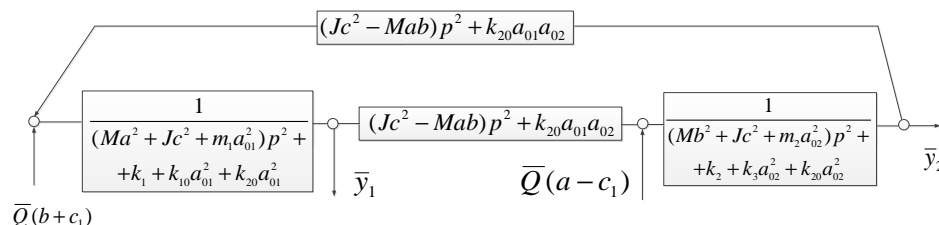


Рисунок 2 – Структурная схема эквивалентной в динамическом отношении системы автоматического управления

5 Переход к операторной форме позволяет для оценки динамических свойств использовать аналитический аппарат теории автоматического управления. Выражения для передаточных функций системы по координатам \bar{y}_1 и \bar{y}_2 имеют вид:

$$W_2(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{Q}}, \quad (3)$$

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{Q}}, \quad (4)$$

6 Детализированная информация о формах движения рабочего органа вибрационной машины может быть получена из анализа передаточной функции межпарциальных связей вида:

$$W_{12}(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1}. \quad (5)$$

Выражение (5) может быть использовано как основа алгоритма для решения задач корректировки, настройки и формирования динамического состояния рабочего органа в плане выбора и отслеживания определённых параметров вибрационного поля при реализации технологического процесса. Такая же алгоритмическая основа может быть использована для создания системы автоматического управления работой машины.

7 Предложен метод построения структурных математических моделей для вибрационных технологических машин, расчетные схемы которых могут приводиться к механическим колебательным системам с сосредоточенными параметрами. Показаны возможности получения передаточных функций системы и условия их преобразований для получения аналитических соотношений, необходимых для решения задач оценки, контроля и формирования динамических состояний рабочего органа. Введен ряд новых понятий, отражающих возможности изменения динамических состояний рабочих органов в направлениях формирования распределений амплитуд колебаний точек твердого тела в пределах определенных форм вибрационного поля.

Список литературы

- 1 Копылов, Ю. Р. Динамика процессов виброударного упрочнения / Ю. Р. Копылов. – Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2011. – 569 с.
- 2 De Sylva Clarence, W. Vibration. Fundamentals and Practice / W. De Sylva Clarence. – Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press, 2000. – 957 p.
- 3 Karnovsky, I. A. Theory of vibration protection / I. A. Karnovsky, E. Lebed. – Switzerland : Springer, 2016. – 708 p.
- 4 Dynamics of mechanical system with additional ties / S. V. Eliseev [et al.]. – Irkutsk : ISU, 2006. – 315 p.
- 5 Белокобыльский, С. В. Динамика механических систем. Рычажные и инерционно-упругие связи / С. В. Белокобыльский, С. В. Елисеев, И. С. Ситов. – СПб. : Политехника, 2013. – 319 с.
- 6 Елисеев, А. В. Динамики машин. Системные представления, структурные схемы и связи элементов / А. В. Елисеев, Н. К. Кузнецов, А. О. Московских. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 381 с.
- 7 Елисеев, С. В. Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (динамика транспортных технологических машин: связь движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи / С. В. Елисеев. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 692 с.
- 8 Eliseev, S. V. Theory of oscillations. Structural mathematical modeling in problems of dynamics of technical objects / S. V. Eliseev, A. V. Eliseev. – Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 521 p.