

Список литературы

- 1 Методы и результаты испытаний инерциальных датчиков, предназначенных для эксплуатации на летательных аппаратах вертолётного типа / Р. В. Ермаков [и др.] // XXIV Санкт-Петербургская междунар. конф. по интегрированным навигационным системам : сб. материалов ; гл. ред. В. Г. Пешехонов. – СПб., 2017. – С. 244–248.
- 2 **Кондратов, Д. В.** Математическая модель круглого чувствительного элемента нанодатчика / Д. В. Кондратов, М. А. Барулина, С. А. Галкина // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2020. – № 3. – URL: mathmod.esrae.ru/31-118.
- 3 Mechanical and thermal properties of Graphene nanoplates (GNPs). Lithium aluminosilicate (LAS) composites: An analysis based on mathematical model and experiments / Ma G. [et al.] // Ceramics International. – 2020. – 46, 10903–10909. – doi:10.1016/j.ceramint.2020.01.104.
- 4 **Sapsathiarn, Y.** Finite-Element Modeling of Circular Nanoplates / Y. Sapsathiarn, R.K.N.D. Rajapakse // Journal of Nanomechanics and Micromechanics. – 2013. – Vol. 3. – P. 59–66. – doi:10.1061/(ASCE)NM.2153-5477.0000056.
- 5 **Chen, W.** A model of composite laminated Reddy plate based on new modified couple stress theory / W. Chen, X. Ma, L. Li // Composite Structures 94. – 2012. – P. 2143–2156.
- 6 **Барулина, М. А.** Уравнения движения чувствительного элемента НЭМС-датчика как прямоугольной размерно-зависимой нанопластины / М. А. Барулина // Нано- и микросистемная техника. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 164–171.
- 7 **Барулина, М. А.** Аналитическое решение уравнений движения чувствительного элемента наносенсора как прямоугольной свободно опертой нанопластины / М. А. Барулина, Д. В. Кондратов, С. А. Галкина // Нано- и микросистемная техника. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 115–121.

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

НАСТРОЙКА ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р. С. БОЛЬШАКОВ¹, С. К. КАРГАПОЛЬЦЕВ², С. В. ЕЛИСЕЕВ¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация

Эксплуатация технических объектов различного назначения, в том числе транспортных и технологических машин, подвержена влиянию негативных факторов. К их числу могут быть отнесены вибрационные процессы, проявляющиеся при работе двигателей, валов, компрессоров и других агрегатов, что инициирует необходимость поиска и разработки способов и средств их снижения, их действия как на основные узлы и агрегаты, так и на оборудование в целом [1, 2]. Для оценки динамического состояния технических объектов используются кинематические параметры, а также подходы с использованием структурного математического моделирования, когда расчетной схеме технического объекта в виде механической колебательной системы сопоставляется эквивалентная в динамическом отношении система автоматического управления [3, 4]. Формирование нужных динамических режимов также связано с выработкой конструктивно-технических решений, направленных на контроль различных динамических эффектов, возникающих при функционировании технических объектов [5, 6], а также расширение набора параметров динамического состояния за счет динамических реакций связей [7, 8].

В предлагаемом докладе рассматривается использование упруго-демпфирующих элементов для изменения параметров динамического состояния технического объекта.

I. Общие положения. Постановка задачи

Принципиальная схема технического объекта представлена на рисунке 1, *a*, где приведены упругие пневмобаллоны с объемами V_1 и V_2 ; демпферные камеры с объемами V_{10} и V_{20} ; $b_1 \div b_5$ – дроссельные устройства для диссипации энергии колебаний при прохождении потоков воздуха. В данном случае упругая опора представляет собой упругодемпфирующий блок из последовательно соединённых упругой и демпферной камер, соединённых дросселем, обладающих динамическими свойствами сложного составного элемента, собранного из нескольких типовых звеньев. Расчетная схема представлена в виде механической колебательной системы, которая состоит из твёрдых тел с массой M и моментом инерции J . Твёрдое тело имеет упругие опоры и совершает плоское колебательное движение в системе координат (y_1 и y_2), связанной с неподвижным базисом.

Динамические свойства системы, как следует из принципиальной схемы на рисунке 1, определяются возможностями коммутации элементов через дроссели. При определённых условиях,

например, при $b_3 \rightarrow \infty$, то есть при перекрытии трубопровода, соединяющего демпферные камеры, рассматриваемый объект можно представить в упрощённом виде, как показано на рисунке 1, б.

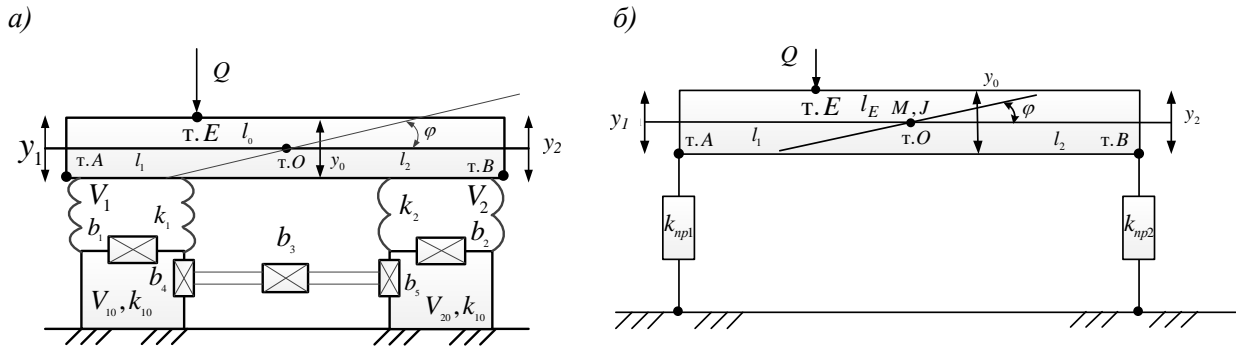


Рисунок 1 – Принципиальная (а) и расчётная (б) схемы технического объекта

В случае, когда $b_3 = 0$, $b_1 \neq 0$, $b_2 \neq 0$, что позволяет отобразить в операторной форме после соответствующих преобразований приведённые жёсткости системы по координатам \bar{y}_1 и \bar{y}_2 , полагая, что объёму воздуха V_1 соответствует параметр упругости элемента k_1 ; соответственно для демпферной камеры имеем k_{10} . Аналогично по координатам \bar{y}_1 , \bar{y}_2 твёрдое тело таким образом будет опираться на элементы с приведёнными жёсткостями

$$k_{нп1}(p) = \frac{(k_3 + b_1 p)k_{10}}{k_1 + k_{10} + b_1 p}, \quad (1)$$

$$k_{нп2}(p) = \frac{(k_2 + b_2 p)k_{20}}{k_2 + k_{20} + b_2 p}. \quad (2)$$

II. Оценка возможностей управления динамическим состоянием системы

При отсутствии связи между пневмоблоками $k_{нп1}(p)$ и $k_{нп2}(p)$ и действии гармонической силы \bar{Q} , приложенной в т. E на расстоянии l_E от центра масс (т. O, рисунок 1, б), на основании уравнений движения в операторной форме [3] построить структурную схему эквивалентной в динамическом отношении системы автоматического управления (рисунок 2).

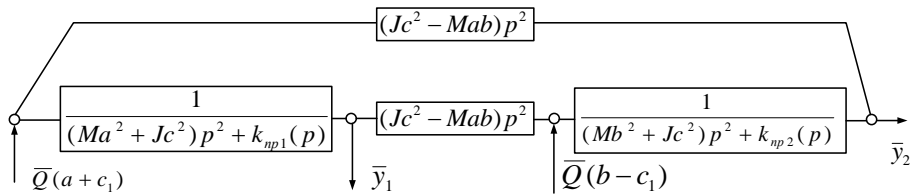


Рисунок 2 – Структурная схема исходной системы

С помощью структурной схемы и ряда соответствующих преобразований можно получить выражение передаточной функции межпарциальной связи

$$W_{12}(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} = \frac{p^2 [(Jc^2 + Mac_1(a-b))(k_1 + k_{10} + b_1 p) + (b-c_1)(k_3 + b_1 p)k_{10}](k_2 + k_{20} + b_2 p)}{p^2 [(Jc^2 + Mbc_1(a-b))(k_2 + k_{20} + b_2 p) + (a+c_1)(k_2 + b_2 p)k_{20}](k_1 + k_{10} + b_1 p)}. \quad (3)$$

Для управления динамическим состоянием технического объекта с использованием (3) могут быть введены в рассмотрение связи, формируемые, к примеру, при условии $b_1 \neq 0$, $b_2 \neq 0$, $b_3 \neq 0$ или $b_1 \neq 0$, $b_2 \neq 0$, $b_3 \rightarrow \infty$ и др. Алгоритм управления соотношением координат \bar{y}_2/\bar{y}_1 предопределяет возможности управления распределением амплитуд колебаний точек рабочего органа по его длине.

Заключение

Таким образом, наличие сложных настраиваемых структур в составе опорной системы технического объекта позволяет получать необходимые режимы работы. Предложенный подход позволяет

осуществлять построение математических моделей с учетом наличия упругодемпфирующих элементов с приведенными жесткостями, что позволяет производить контроль динамического состояния технического объекта за счет изменения параметров составляющих элементов.

Список литературы

- 1 Методология системного анализа в задачах оценки, формирования и управления динамическим состоянием технологических и транспортных машин / С. В. Елисеев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2021. – 679 с.
- 2 **Бабичев, А. П.** Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д : Изд. центр ДГТУ, 2008. – 693 с.
- 3 **Елисеев, С. В.** Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (динамика транспортных и технологических машин: связность движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи) : [монография] / С. В. Елисеев. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 692 с.
- 4 **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.
- 5 Механические цепи в задачах коррекции динамических состояний вибрационных технологических машин / С. В. Елисеев [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 4 (153). – С. 718–727.
- 6 Рычажные связи: возможности формирования динамических состояний в механических колебательных системах / С. В. Елисеев [и др.] // Транспорт Урала. – 2020. – № 3 (66). – С. 17–23.
- 7 **Кашуба, В. Б.** Динамические реакции в соединениях элементов механических колебательных систем / В. Б. Кашуба, С. В. Елисеев, Р. С. Большаков. – Новосибирск : Наука, 2016. – 331 с.
- 8 **Большаков, Р. С.** Особенности вибрационных состояний транспортных и технологических машин. Динамические реакции и формы взаимодействия элементов / Р. С. Большаков. – Новосибирск : Наука, 2020. – 411 с.

УДК 539.3

ОБРАТНАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ НАГРУЗКИ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА БАЛКУ БЕРНУЛЛИ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

Я. А. ВАХТЕРОВА, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В прямоугольной декартовой системе координат рассматривается однородная изотропная балка конечной длины, исследование поперечных колебаний которой производится на основе уточненной теории, соответствующей модели теории балок Эйлера – Бернулли. В качестве граничных условий используются условия шарнирного опирания. Начальные условия нулевые. В начальный момент времени к балке прикладывается распределенная нагрузка, зависящая от координаты и времени. Требуется идентифицировать нестационарную нагрузку, действующую на балку Бернулли.

В основу методики решения прямой задачи положен принцип суперпозиции, при котором перемещения и контактные напряжения связаны посредством интегральных операторов по пространственной переменной и времени. При этом ядрами последних являются функции влияния для балки Бернулли. Эти функции представляют собой фундаментальные решения систем дифференциальных уравнений движения исследуемой балки. Их построение представляет собой отдельную задачу. Функции влияния находятся с помощью преобразования Лапласа по времени и разложений в ряды Фурье по системе собственных функций.

Решение обратной задачи сводится к решению системы независимых интегральных уравнения Вольтера I рода, которая является некорректной по Ж. Адамару вследствие вырожденности ядер интегральных операторов. Для регуляризации обратной задачи применяется дифференцирование левых и правых частей уравнений, приводящие к системе интегральных уравнений с невырожденными ядрами.

Для решения системы разрешающих обратную задачу интегральных уравнений разработан и реализован на ЭВМ численно-аналитический алгоритм, основанный на методе средних прямоугольников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90043.