

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОВОКУПНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И ФОРМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН ТРАНСПОРТНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Елисеев А.В., Миронов А.С.

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск,
Россия*

Ключевые слова: механическая колебательная система, структурная математическая модель, передаточная функция, динамическая жесткость, динамическое состояние, динамическое гашение колебаний

Аннотация. Развивается системный подход в построении основ метода структурного математического моделирования в приложении к задачам динамики технических объектов, работающих в условиях интенсивного динамического нагружения и вибрационных взаимодействий элементов машин. Предложено развитие методологии структурно-математического моделирования в оценке динамических особенностей технических объектов на основе представлений о состояниях и формах взаимодействий элементов механических колебательных систем с учетом приложения зависимых внешних вибрационных возмущений силовой или кинематической природы. В рамках единого подхода разработан метод интерпретации динамических состояний и форм динамических взаимодействий элементов механической колебательной системы, находящийся под воздействием связанных возмущений силовой и кинематической природы, с помощью ориентированных графов динамических состояний и графов динамических форм взаимодействий.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF THE TOTALITY OF DYNAMIC STATES AND FORMS OF INTERACTIONS OF ELEMENTS OF VIBRATING MACHINES FOR TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL PURPOSES

Eliseev A.V., Mironov A.S.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Keywords: mechanical oscillatory system, structural mathematical model, transfer function, dynamic stiffness, dynamic state, dynamic vibration damping.

Abstract. A systematic approach is being developed in building the foundations of the structural mathematical modeling method in application to the problems of the dynamics of technical objects operating under conditions of intense dynamic loading and vibration interactions of machine elements. The development of the methodology of structural and mathematical modeling in assessing the dynamic features of technical objects based on the concepts of the states and forms of interactions of elements of mechanical oscillatory systems, taking into account the application of dependent external vibration disturbances of a force or kinematic nature, is proposed. Within the framework of a unified approach, a method has been developed for interpreting dynamic states and forms of dynamic interactions of elements of a mechanical oscillatory system, which is under the influence of connected perturbations of a force and kinematic nature, using oriented graphs of dynamic states and graphs of dynamic forms of interactions.

В настоящее время вопросам безопасности работы технических объектов уделяется значительное внимание. Обеспечение динамического

качества работы узлов технических объектов, находящихся в условиях установившихся вибрационных нагружений, реализация динамического гашения колебаний, возможности проявления динамических эффектов в производственных целях предопределяет внимание к развитию методологической базы для решения широкого круга задач динамики [1].

Работа посвящена развитию методологии для детализации представлений о динамических состояниях и формах динамических взаимодействий элементов механических колебательных систем, используемых в качестве расчетных схем технических объектов, находящихся под воздействием связанных внешних возмущений силовой природы.

Рассмотрена механическая колебательная система с двумя степенями свободы, образованная массоинерционными элементами m_1 , m_2 , которые связаны между собой и с опорными поверхностями с помощью упругих элементов с жесткостями k_1 , k_2 , k_3 (рис. 1). Под воздействием внешних гармонических синфазных силовых возмущений Q_1 и Q_2 элементы m_1 , m_2 совершает малые установившиеся колебания относительно положения статического равновесия. В качестве обобщенных координат использованы смещения y_1 , y_2 массоинерционных элементов m_1 , m_2 относительно положения статического равновесия.

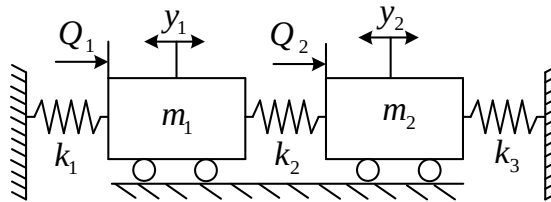


Рис. 1. Расчётная схема технического объекта: m_1 , m_2 – массоинерционные элементы; k_1 , k_2 , k_3 – жёсткости упругих элементов; y_1 , y_2 – обобщенные координаты, Q_1 , Q_2 – внешние силы

На основе использования известных методов [2], включающих интегральные преобразования Лапласа[3], построены структурная схема (рис. 2) механической колебательной системы (рис. 1), передаточное отношение $\bar{y}_1/\bar{Q}_1$ и соответствующая амплитудно-частотная характеристика (рис. 3).

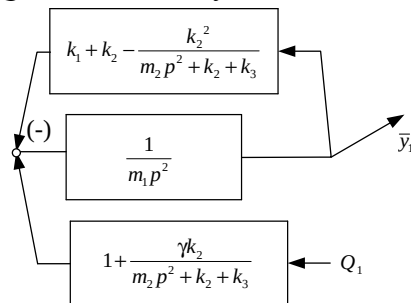


Рис. 2. Структурная схема системы, приведенная к элементу m_1 , $p=\sqrt{-1}$

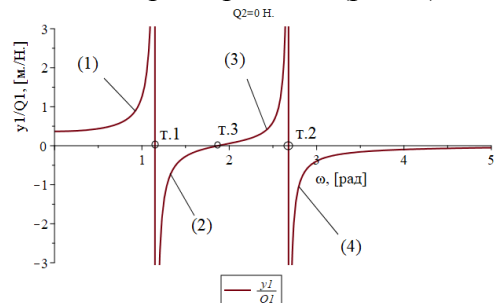


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика передаточного отношения $\bar{y}_1/\bar{Q}_1$

Амплитудно-частотная характеристика $\bar{y}_1/\bar{Q}_1$ имеет две положительные ветви графика (линии 1, 3) и две отрицательные ветви графика (линии 2, 4), т. 1. и т. 2 отображают собственные частоты ω_1 и ω_2 , т.3 отображает частоту обнуления ω_0 координаты y_1 .

Особенности динамических состояний и форм взаимодействий элемента m_1 определяются тем, что частота ω_0 обнуления амплитуды координаты y_1 находится между собственными частотами ω_1 и ω_2 системы (табл. 1).

Табл. 1. Особенности передаточного отношения $\bar{y}_1/\bar{Q}_1$ для $\gamma_0 < \gamma < \gamma_1$

Частоты ω	[0]	(0, ω_1)	[ω_1]	(ω_1 , ω_0)	[ω_0]	(ω_0 , ω_2)	[ω_2]	(ω_2 , ∞)
$W_{11}(\gamma, p) _{p=j\omega}$	$W_{11}(\gamma, 0)$	+	∞	-	0	+	∞	-

Соответствующие передаточному отношению совокупности динамических состояний и форм динамических взаимодействий элементов системы могут быть отображены посредством графов (рис. 4, а-в). В графе динамических состояний вершины отображают динамические состояния, связанные с характерными частотами, а дуги отображают формы динамических взаимодействий (рис. 4, а, б).

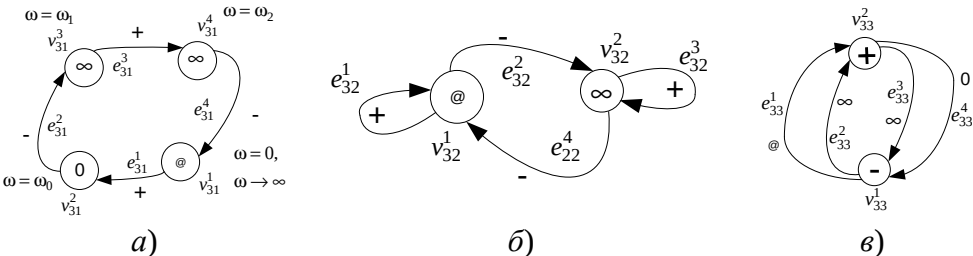


Рис. 4. Совокупности динамических состояний и форм динамических взаимодействий: а – граф $G_{31} = \{V_{31}, E_{31}\}$ динамических состояний, б – граф $G_{32} = \{V_{32}, E_{32}\}$ динамических состояний с учетом отождествления состояний с нулевой амплитудой и резонансов, в – граф $G_{33} = \{V_{33}, E_{33}\}$ динамических форм взаимодействий

Разработан метод оценки и форм динамических взаимодействий системы на основе интерпретации совокупности динамических состояний в виде ориентированного графа динамических состояний и графа динамических форм взаимодействий массоинерционного элемента механической колебательной системы. В рамках разработанного подхода предложен метод построения графов, отображающий совокупность динамических состояний и форм динамических взаимодействий с учётом критериев отождествления состояний и форм между собой.

Список литературы

1. Лонcich П.А. Динамическое качество машин и оборудования как инструмент обеспечения надежности производства и

- конкурентоспособности процессов: монография / П.А. Лонcich, С.В. Елисеев. – Иркутск: Иркутский гос. технический ун-т, 2014. – 322с.
2. Елисеев А.В. Динамика машин. Системные представления, структурные схемы и связи элементов / А.В. Елисеев, Н.К. Кузнецов, А.О. Московских. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 381 с.
 3. Лурье А.И. Операционное исчисление и применение в технических приложениях. – М.: Наука. 1959. – 368 с.

References

1. Lontsikh P.A. Dynamic quality of machinery and equipment as a tool for ensuring production reliability and competitiveness of processes: monograph / P.A. Lontsikh, S.V. Eliseev. – Irkutsk: Irkutsk State Technical University, 2014. – 322p.
2. Eliseev A.V. Dynamics of machines. System representations, structural schemes and connections of elements: monograph / A.V. Eliseev, N.K. Kuznetsov, A.O. Moskovskikh. – Moscow: Innovative mechanical engineering, 2019. – 381 p.
3. Lurie A.I. Operational calculus and application in technical applications. – M.: Science, 1959. – 368 p.

Елисеев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедр математики	Eliseev Andrey Vladimirovich – candidate of technical sciences, associate professor of Mathematics Department
Миронов Артем Сергеевич – соискатель	Mironov Artem Sergeevich – candidate of scientific degree
eavsh@ya.ru	

Received 10.02.2022