

чем в чисто упругом полупространстве ($\bar{p}_0 = 0$) [8], но позже, чем в гидроупругой системе с вязким жидким слоем ($\bar{\mu}^* = 0,001$). При этом для значений параметров критического укорочения имеет место соотношение $\tilde{\lambda}_{кр} = \lambda_1 \approx 0,543695 > \tilde{\lambda}_{кр} = \lambda_1 \approx 0,54369 > \lambda_{кр} = \lambda_1 \approx 0,543688$.

Нетрудно видеть, что нагружение упругого полупространства слоем жидкости существенно не изменяет условия возникновения поверхностной неустойчивости, поскольку величины параметров критического укорочения чисто упругого полупространства $\lambda_{кр}$, а также гидроупругих систем $\tilde{\lambda}_{кр}$ и $\tilde{\lambda}_{кр}$ отличаются на весьма малую величину.

Таким образом, развитая линеаризованная теория волн применительно к высокоэластичным несжимаемым телам позволяет исследовать волновые процессы не только в общем и ряде частных случаев, но также возможность и условия возникновения явления поверхностной неустойчивости как в упругом полупространстве, так и в гидроупругой системе.

Заключение. Анализ полученных числовых результатов показал, что влияние конечных начальных деформаций упругого полупространства на характеристики волнового процесса в гидроупругой системе проявляется не только количественно, но и качественно. Большие предварительные деформации могут привести не только к изменению величин фазовых скоростей и дисперсионных свойств поверхностных волн, но и к более существенному изменению параметров волнового процесса в гидроупругой системе в целом. В результате их действия в упруго-жидкостном волноводе может возникнуть явление поверхностной неустойчивости, приводящее к прекращению процесса распространения волн и переноса волновой энергии.

Список литературы

- 1 Гузь, А. Н. Динамика сжимаемой вязкой жидкости / А. Н. Гузь. – Киев : А.С.К., 1998. – 350 с.
- 2 Гузь, А. Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями / А. Н. Гузь. – Киев : А.С.К., 2004. – 672 с.
- 3 Гузь, А. Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: в 2 ч. Ч. 1. Общие вопросы. Волны в бесконечных телах и поверхностные волны / А. Н. Гузь. – Saarbrucken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 501 с.
- 4 Гузь, А. Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: в 2-х ч. Ч. 2: Волны в частичноограниченных телах / А. Н. Гузь. – Saarbrucken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 505 с.
- 5 Гузь, А. Н. Введение в динамику сжимаемой вязкой жидкости / А. Н. Гузь // Saarbrucken : LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. – 244 с.
- 6 Guz, A. N. Aerohydroelasticity Problems for Bodies with Initial Stresses / A. N. Guz // Int. Appl. Mech. – 1980. – Vol. 16. – No. 3. – P. 175–190.
- 7 Guz, A. N. Dynamics of Compressible Viscous Fluid / A. N. Guz // Cambridge : Cambridge Scientific Publishers, 2009. – 428 p.
- 8 Гузь, А. Н. Устойчивость упругих тел при конечных деформациях / А. Н. Гузь. – Киев : Наук. думка, 1973. – 272 с.

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

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ НАЛИЧИИ РЫЧАЖНЫХ СВЯЗЕЙ

Р. С. БОЛЬШАКОВ, А. В. НИКОЛАЕВ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Эксплуатация оборудования и аппаратуры транспортного и технологического назначения, используемого на промышленных предприятиях, в горной промышленности, строительстве и других отраслях, связана с применением вибрационных технологий. Решению задач, связанных с оценкой, формированием и управлением динамическим состоянием машин, используемых в этих отраслях, посвящен ряд научных работ [1–3]. Также достаточно разнообразны конструктивно-технические решения и подходы, позволяющие получать требуемые режимы работы таких машин [4, 5].

В предлагаемом докладе рассматриваются особенности формирования динамического состояния технической системы при наличии рычажных связей в её составе.

I Общие положения. Постановка задачи. Расчетная схема исходного технического объекта представляет собой механическую колебательную систему с тремя степенями свободы, как показано на рисунке 1. В структуре системы используется рычажный механизм, обеспечивающий перемещение дополнительных пригрузов m_1 и m_2 на концах элементов рычажного механизма в т. A, B . Рабочий орган машины представлен твердым телом, обладающим массой M и моментом инерции J ; рабочий орган опирается на упругие опоры, входящие в систему связанных между собой (рисунок 1) пружин и рычажного механизма с центром вращения в т. O_2 .

Рычажный механизм имеет центр вращения в т. O_2 , который может в случае необходимости изменять свое положение и соответственно варьировать значение передаточного отношения, определяемое выражением

$$i = \frac{l_{20}}{l_{10}}, \quad (1)$$

где l_{10}, l_{20} – размеры плеч рычажного механизма.

Наличие передаточного отношения i предопределяет связь между координатами y_{10} и y_{20}

$$y_2 = iy_1, \quad (2)$$

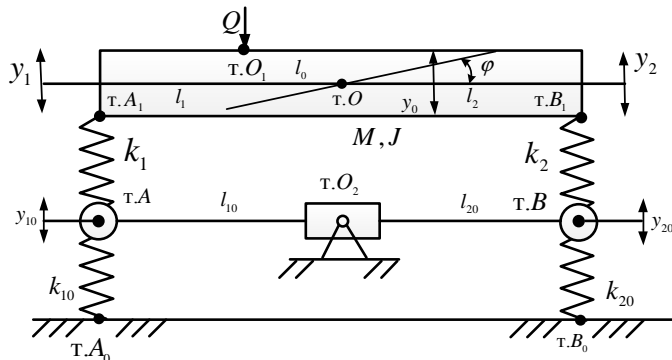


Рисунок 1 – Расчетная схема вибрационной технологической машины при наличии рычажных связей

что может использоваться как возможность построения самонастраивающихся систем автоматического управления динамическим состоянием технологической машины.

Для построения математической модели вибрационной машины (см. рисунок 1) используется система дифференциальных уравнений движения, получаемая после нахождения выражений для кинетической и потенциальной энергий. Применение преобразований Лапласа при нулевых начальных условиях

$$\bar{y}_1 \left[(Ma^2 + Jc^2)p^2 + k_1 \right] - y_2'' (Jc^2 - Mab)p^2 - k_1 \bar{y}_{10} = \bar{Q}(a + c_1), \quad (3)$$

$$\bar{y}_2 \left[(Mb^2 + Jc^2) + k_2 \right] - \bar{y}_1 (Jc^2 - Mab)p^2 - k_2 i \bar{y}_{10} = 0, \quad (4)$$

$$\bar{y}_{10} \left[(m_1 + m_2 i^2)p^2 + k_1 + k_{10} + i^2(k_2 + k_{20}) \right] - k_1 \bar{y}_1 - k_2 i \bar{y}_2 = \bar{Q}(b - c_1). \quad (5)$$

Здесь $P = j\omega$ – комплексная переменная ($j = \sqrt{-1}$); значок $\langle - \rangle$ над переменной означает ее изображение по Лапласу [1, 3].

II Анализ динамических свойств системы при наличии рычажных связей.

Трансформация исходной системы уравнений движения и исключение переменной y_{10} позволяет получить передаточную функцию межпарциальных связей

$$W_{12}(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} = \frac{(b - c_1) \left[(Ma^2 + Jc^2)p^2 + k_1 - \frac{k_1^2}{N} \right] + (a + c_1) \left[(Jc^2 - Mab)p^2 - \frac{k_1 k_2 i}{N} \right]}{(a + c_1) \left[(Mb^2 + Jc^2)p^2 + k_2 - \frac{k_2^2 i}{N} \right] + (b - c_1) \left[(Jc^2 - Mab)p^2 + \frac{k_1 k_2 i}{N} \right]}. \quad (6)$$

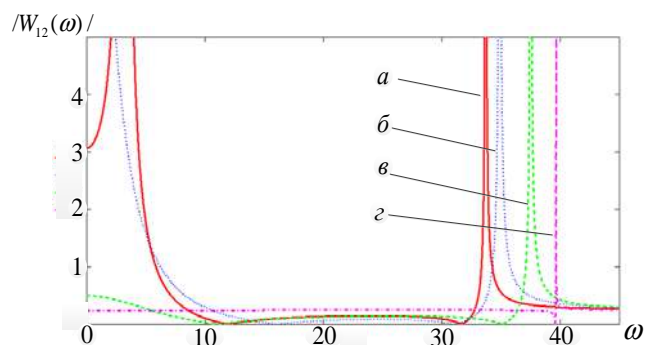


Рисунок 2 – Графики амплитудно-частотных характеристик при изменении передаточного отношения

Выражение (6) даёт возможность получить при заданных параметрах: а) $l_{20} = 0,8$ м; $l_{10} = 0,2$ м; б) $l_{20} = 0,6$ м; $l_{10} = 0,4$ м; в) $l_{20} = 0,4$ м; $l_{10} = 0,6$ м; г) $l_{20} = 0,2$ м; $l_{10} = 0,6$ м) амплитудно-частотные характеристики, которые могут быть использованы для разработки технологии формирования и поддержания необходимых режимов работы системы (рисунок 2).

Учитывая свойства передаточной функции $W_{12}(p)$, можно отметить, что свойства системы могут корректироваться, оцениваться и формироваться под необходимые регламенты.

Заключение. Предложенный метод расширения возможностей системы, основанный на свойствах рычажных механизмов, изменение параметров которых позволяет корректировать динамические режимы. Предложена методика упрощенного подхода к оценке динамических свойств системы, основанная на исключении переменных и переходе исходной системы к системе с двумя степенями свободы, что позволяет ввести в рассмотрение ряд новых динамических свойств. Получены амплитудно-частотные характеристики при изменении передаточных отношений рычажных механизмов.

Список литературы

1 **Елисеев, С. В.** Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (динамика транспортных технологических машин: связность движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи) / С. В. Елисеев. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 692 с.

2 **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.

3 **Большаков, Р. С.** Особенности вибрационных состояний транспортных и технологических машин. Динамические реакции и формы взаимодействия элементов / Р. С. Большаков. – Новосибирск : Наука, 2020. – 411 с.

4 **Елисеев, С. В.** Возможности структурного математического моделирования в оценке динамических свойств технологических вибрационных машин / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков, И. С. Ситов // Системы. Методы. Технологии. – 2019. – № 1 (41). – С. 7–15.

5 The dynamical condition of the vibration machine: nodes of oscillations, flexural centers, connectivity parameters / S. V. Eliseev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2019) / Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Crimean Federal University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. – 2020. – 044004.

УДК 004.94, 004.8

АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭМЕРДЖЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г. В. ВАНЬКИНА, Т. О. СУНДУКОВА

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, Российская Федерация

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) интегрируют информационные, сенсорные, управляющие и коммуникационные технологии для предоставления транспортных услуг. Их пользователи варьируются от обычных пассажиров до политиков и градостроителей. Учитывая окружение и сложность этих систем, их изучение в реальных условиях зачастую неосуществимо. Моделирование помогает решить данную задачу, при этом представляет свои собственные проблемы: могут быть непреднамеренные ошибки при переходе от моделей к коду; исследовательские платформы часто смещают моделирование; трудно сравнивать работы, в которых используются разные модели и инструменты. Для преодоления выявленных проблем рассмотрим метод для разработки моделей на основе моделей, называемый эмерджентным моделированием [11]. Он основан на специфическом языке моделирования, который поддерживает интегрированную спецификацию множества аспектов ИТС: людей, их транспортных средств и внешней среды; сети датчиков и исполнительных механизмов, удобно расположенных и распределенных, которые формируют базу результатов. Фреймворк работает с редактором моделей для создания спецификаций, совместимых с языком описания и обработки, генератором кода для создания приложения с использованием спецификаций платформы. В технической и исследовательской литературе существуют также рекомендации, помогающие исследователям в применении этой инфраструктуры.

Концепция умного города предстает как ответ на вызовы, возникающие при управлении сильно взаимосвязанными физическими и информационными технологиями (ИТ) инфраструктур во взаимоотношениях с их сообществами и окружающей средой [3]. Цель состоит в том, чтобы использовать преимущества искусственного интеллекта в таких сложных системах для получения более эффективной, устойчивой и адекватной среды [5]. ИТС [10] играют ключевую роль в этом контексте, их функционал направлен на улучшение трафика в плане безопасности, устойчивости и снижения затрат времени, денег, энергии и воздействия на окружающую среду. Для этой цели эти системы используют повсеместное присутствие сетей датчиков и исполнительных механизмов (Sensor