

УДК 531.8

Беленов Алексей Федорович¹, к.ф.-м. н.доцент НИРО,
e-mail: balniro@mail.ru

Бубнов Евгений Яковлевич², к.т.н. доцент ВГУВТ
e-mail: kaf_phys@vsuwt.ru

¹ ГБОУ ДПО Нижегородский институт развития образования, г.Нижний Новгород, Россия.

²Волжский государственный университет водного транспорта, г.Нижний Новгород, Россия.

СВЯЗАННЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ И В ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Аннотация. Представлены результаты моделирования связанных колебаний железнодорожного состава с помощью реальной цифровой лаборатории «Архимед 4.0» и виртуальной математической модели на базе лаборатории «Живая Физика».

Ключевые слова: осциллограмма, спектр, модель, цифровая лаборатория.

Практически любой железнодорожный состав является связанной колебательной системой, состоящей из вагонов, соединенных упругими связями. В таких системах с многими степенями свободы возможны колебания с резкими выбросами амплитуды, что иногда ощущают на себе пассажиры. Математическое моделирование подобной системы достаточно громоздко, даже в рамках курса теоретической механики. Для занятий со студентами на уровне программы высшей школы весьма уместно использование современных программных ресурсов, сочетающих наглядность и конкретность вышеприведенной ситуации. В данной статье приводятся результаты применения двух цифровых ресурсов: - Живая Физика [1] (математическое моделирование) и Архимед 4.0 [2] (цифровые датчики, поддерживающие колебательные системы). В качестве реальной и виртуальной моделей используется плоского двойного математического маятника с одинаковыми параметрами [3]. Эскиз данной модели приведен на рисунке 1.

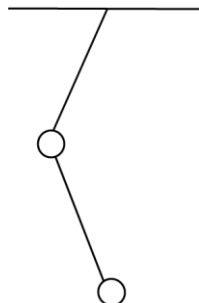


Рисунок 1- Эскиз модели связанных маятников

Такой маятник имеет две собственных частоты колебаний [3]:

$$\omega_{1,2} = \sqrt{2(\sqrt{2} \pm 1)}\omega_0 \quad (1)$$

где ω_0 – циклическая частота колебаний каждого из маятников, рассчитанная по формуле:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения; l – длина нити маятника.

Результат компьютерного моделирования с использованием программы Живая Физика, с приведенным графиком изменения горизонтальной координаты нижнего маятника приведен на рис.2



Рисунок 2 Осциллограмма колебаний (виртуальная лаборатория Живая Физика)

Более детальное рассмотрение данной ситуации возможно при проведении реального эксперимента с использованием датчика угла поворота цифровой лаборатории Архимед 4.0. Для обеспечения работы датчика была использована маломассивная спица, заменяющая нить. К ней был прикреплен математический маятник. На рисунке 3 представлена реальная осциллограмма зависимости угла поворота спицы (верхней нити) от времени.

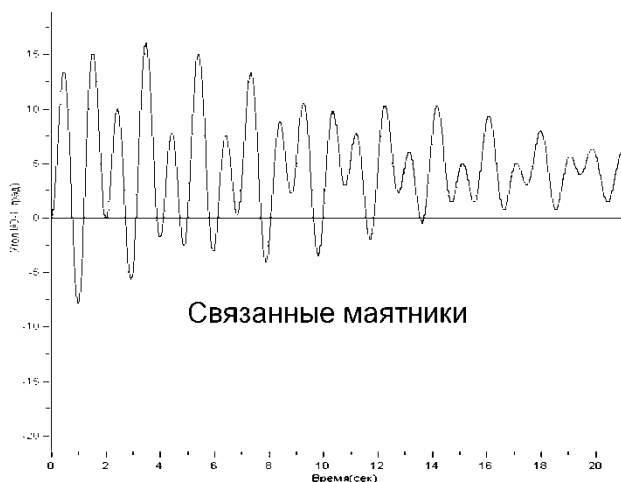


Рисунок 3 Осциллограмма связанных маятников (реальная лаборатория Архимед)

Программа лаборатории Архимед позволяет получить частотный спектр осциллограммы, приведенной на рис 4.

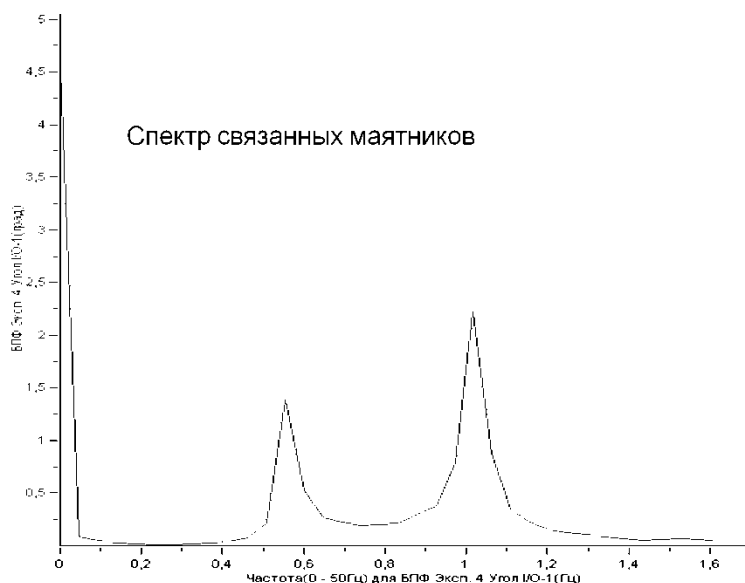


Рисунок 4 Спектр связанных маятников (лаборатория Архимед)

Анализ спектра (рис. 4) подтверждает соотношение (1) – даже при одинаковых собственных частотах связанных маятников колебательная система дает расщепленный спектр. При большем количестве объектов (транспортная сеть) можно прогнозировать «размножение» частот, что порождает хаотичность движения отдельных транспортных звеньев.

Список литературы:

1. Бронфман В. В. Живая Физика. Комплекты компьютерных экспериментов. Методические рекомендации // -2015. – М.: ИНТ. – 238 с.
2. Сайт Института Новых Технологий Образования, Москва. URL: <https://www.int-edu.ru/content/cifrovye-laboratorii-arhimed/> (дата обращения 03.04.2022).
3. Задачи по теоретической механике: Учеб. пособие: Для вузов -2е изд., перераб и доп. / Павленко Ю.Г; под ред. Ю.П.Рыбакова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 536 с.

COUPLED OSCILLATORY SYSTEMS IN TRANSPORT AND IN THE PHYSICAL LABORATORY

Alexey F. Belenov, Evgeniy Ya. Bubnov

Abstract. The results of simulation of coupled vibrations of a railway train using a real digital laboratory "Archimedes 4.0" and a virtual mathematical model based on the laboratory "Interactive Physics" are presented

Keywords: oscillogram, spectrum, model, digital laboratory.