

ем переходных режимов движения вагона, связанных с высокими градиентами изменения кинематических характеристик элементов конструкций подвижного состава (экстренное торможение в кривой, соударение вагонов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Гвоздев, А. А.** Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия / А. А. Гвоздев. – М.: Госстройиздат, 1949. – 280 с.

2 **Клейн, Г. К.** Строительная механика сыпучих тел / Г. К. Клейн. – М.: Строиздат, 1977. – 256 с.

3 **Кочнов, А. Д.** О нормативном документе для расчета грузовых вагонов на прочность и ходовые качества и необходимости его дальнейшего совершенствования / А. Д. Кочнов, В. С. Плоткин // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: тезисы докладов. – СПб., 2009. – С. 100–101.

4 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

5 **Пуятю, А. В.** Моделирование статической и динамической загруженности кузова вагона сыпучим грузом / А. В. Пуятю: зб. науч. прац. – Харків: УкрЖАЗТ, 2007. – Вып. 82. – С. 99–104.

A. V. PUTSIATA

TO THE QUESTION OF STANDARD LOADING OF CAR BODY WITH LOOSE GOODS FOR STRENGTH

The derivation of pressure on car body walls- loose goods dependence given in the standard documentation for the calculation of car bodies for strength is considered. Inaccuracies in the normative formula and limitations of its application are specified.

Получено 11.02.2010

ISBN 978-985-468-707-0. Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. Вып. 4. Гомель, 2010

УДК 623.593 : 534

А. А. ЦЕРЕНЯ, Ю. А. ГРИБКОВ

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

МИШЕННОЕ УСТРОЙСТВО

Описано практическое применение теории так называемого обращенного маятника. Эта теория была адаптирована и осуществлена авторами в патенте на изобретение и в реальной конструкции уникального мишенного устройства.

Академик П. Л. Капица в 1951 году писал: «Казалось бы, что за 300 лет, прошедших со времен Галилея, этот вопрос должен быть исчерпан (изучение маятников) и если что-либо оставалось для изучения, то это должно было но-

сильно характер дошлифовки ранее полученных результатов. Но, по-видимому, тому типу движения маятника (с вибрирующим подвесом) не было уделено достаточно внимания и одна из очень своеобразных и интересных разновидностей колебаний маятника осталась почти полностью не изученной» [1].

П. Л. Капица внес большой вклад в изучение маятников с вибрирующим подвесом, а также высказал предположения о возможном применении таких маятников в качестве тахометров, измерителя частоты колебаний почвы, устройства для ориентирования коллоидных частиц и молекул. Но применение обращенного маятника для мишенного устройства П. Л. Капица не спрогнозировал.

Авторами работы красивое и поучительное явление динамической устойчивости перевернутого маятника использовано в мишенном устройстве нового типа. Подробности конструкции устройства приведены в патенте Республики Беларусь на изобретение [2].

Остановимся только на некоторых вопросах теоретического плана, которые необходимо было знать для выполнения модели мишенного устройства в металле и дальнейших экспериментов с ним.

Устойчивость маятника с колеблющейся точкой подвеса обычно сравнивают с устойчивостью вращающегося волчка, хотя эти явления динамической устойчивости разнятся по своей физической сути. В мишенном устройстве использован обращенный маятник с вибрирующим подвесом. На оси маятник некоторой длины с некоторой массой свободно колеблется в точке подвеса, которая совершает колебательные движения вдоль вертикальной оси около точки подвеса с определенной частотой и амплитудой. Оказывается, если точка подвеса начнет колебаться с нужной частотой, маятник займет вертикальное положение. Причем такое вертикальное положение, что центр тяжести маятника будет в самом высоком положении, которое соответствует максимуму потенциальной энергии. При попадании в маятник пули он теряет это высокое положение центра тяжести и после небольших колебаний вновь его восстанавливает. Попадание пули фиксируется герконом и накапливается счетчиком.

Явление движения обращенного маятника с вибрирующим подвесом описывается дифференциальным уравнением параметрических колебаний

$$\frac{d^2\Theta}{dt^2} - (gL^{-1} - AL^{-1}\omega^2 \cos \omega t) \cdot \Theta = 0, \quad (1)$$

где Θ – угол отклонения маятника от вертикали; g – ускорение силы тяжести; L – длина маятника; A – амплитуда колебаний; ω – угловая частота колебаний точки подвеса.

Решения уравнения (1) носят колебательный характер, а их основные свойства зависят от значений постоянных параметров. С помощью вычислительной техники уравнение (1) решается довольно быстро и наглядно. Для

практических целей значение имеют только границы между областями устойчивых и неустойчивых решений. Для выяснения этих границ обычно строят диаграмму Айнса–Стретта, которая освобождает от решения уравнения (1). Все время пойдет только на его составление.

Преобразуем уравнение (1) в каноническое уравнение Матье:

$$\frac{d^2\Theta}{d\tau^2} + (a - 2\varepsilon \cos 2\tau) \cdot \Theta = 0, \quad (2)$$

где $2\tau = \omega t$; $a = -\frac{4q}{\omega^2 L}$; $\varepsilon = -\frac{2A}{L}$.

Диаграмма Айнса–Стретта строится в координатах $(a - \varepsilon)$.

Условие устойчивости для исследуемого маятника исходя из данной диаграммы оказалось таким:

$$\omega > \frac{\sqrt{2qL}}{A}. \quad (3)$$

Этого показателя оказалось достаточно для подбора параметров всего устройства: частоты вращения электродвигателя, длины маятника, амплитуды колебаний.

П. Л. Капица в своих работах вывел формулу для определения значения действующего на маятник так называемого вибрационного момента, как его назвал сам автор. Величина этого момента пропорциональна средней кинетической энергии, сообщенной массе маятника вибрацией подвеса. Вибрационный момент является восстанавливающим моментом маятника.

Подбор параметров маятника и электродвигателя по формуле (3) был осуществлен исходя из реальных возможностей: наличия электродвигателя, способов осуществления колебаний точки подвеса и т. п.

Первые попытки осуществления колебаний точки подвеса с помощью высших кинематических пар (специальных кулачков – толкателей) не привели к успеху, так как постоянно выходил из строя толкатель, связанный с точкой подвеса. Поэтому было принято решение перейти к обычному кривошипно-шатунному механизму, включающему только низшие кинематические пары. После этого механизм мишенного устройства стал работать безотказно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Капица, П. Л. Маятник с вибрирующим подвесом / П. Л. Капица // Успехи физических наук. – 1951. – Т. 44. – Вып. 1. – С. 7–20.

2 Мишенное устройство: пат. 8243 Респ. Беларусь : МПК⁷ F 41J 7/04 / А. А. Цереня [и др.]; заявитель и патентообладатель Военная академия Республики Беларусь. – № а20030401 ; заявл. 02.05.2003; опубл. 30.06.2006. – 3 с.

A. A. TSERENJA, Yu. A. GRIBKOV

TARGET DEVICE

This article describes the practical theory application of the so-called inverted pendulum. This theory has been adapted and implemented by the authors in the patent for invention and in the actual design of a unique target device.

Получено 23.03.2009

**ISBN 978-985-468-707-0. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 4. Гомель, 2010**

УДК 539.374:534.11

Д. А. ЧЕРНОУС

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ВЫНУЖДЕННЫЕ ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВЯЗКОУПРУГОГО СТЕРЖНЯ

Решена задача о продольных установившихся вынужденных колебаниях линейно вязкоупругого стержня. При этом механические свойства материала стержня характеризовались тремя параметрами: мгновенным и длительным модулями Юнга, временем релаксации. Получены аналитические зависимости амплитуды колебаний и фазового сдвига между смещением и силой от частоты вынуждающей силы. Проведено сопоставление полученных зависимостей с результатами использования упрощенных расчетных методов.

Введение Широкое использование полимерных материалов в различных отраслях строительства и транспортного машиностроения приводит к необходимости совершенствования традиционных методик расчета напряженно-деформированного состояния элементов конструкций. В рамках данных методик должны учитываться уникальные механические свойства материалов высокомолекулярной природы. В частности, для полимерных материалов характерны ярко выраженные процессы релаксации и ползучести. Пренебрежение данными процессами не позволяет адекватно прогнозировать деформационно-прочностные параметры изделий из полимерных материалов. Большинство подобных изделий функционируют в условиях циклического или ударного нагружения. Поэтому при описании их напряженно-деформированного состояния необходимо решать задачу динамики деформируемого твердого тела с учетом реономных [1, 2] свойств материала.

Решению задач о динамическом нагружении вязкоупругих тел посвящено множество публикаций [3–6]. Однако известные методы решения подразумевают использование сложного математического аппарата. При этом результаты расчетов представляются в виде сходящихся рядов, слагаемые в которых